

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**“PROPUESTA DE INCORPORACIÓN DEL ENSAYO DE PERMEABILIDAD
AL AGUA DEL CONCRETO EN LA NORMATIVA TÉCNICA PERUANA
Y SU IMPLEMENTACIÓN EN EL LABORATORIO DE LA
UCSM – AREQUIPA 2019”**

Tesis presentada por la Bachiller:

Dongo Gómez, Paula Nicole

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Díaz Galdos, Miguel Renato

AREQUIPA – PERÚ

2019

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

Propuesta de incorporación del ensayo de permeabilidad al agua del
concreto en la normativa técnica peruana y su implementación en el
laboratorio de la UCSM - Arequipa 2019

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

Paula Nicole Dongo Gómez

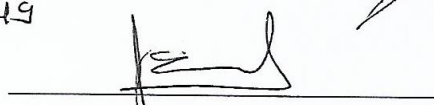
Nuestro DICTAMEN es:

APROBADO

OBSERVACIONES:

Arequipa, 04 de Setiembre del 2019


COD 1949


COD 2778


COD 1938

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermano por siempre darme fuerzas para seguir.

A mis amigos cercanos, en especial a Orlando Javier que fue pieza importante en esta investigación.



DEDICATORIA

A mi familia, por siempre estar presente.



RESUMEN

La permeabilidad del concreto es la capacidad que presenta este material de permitir el paso de sustancias, ya sean líquidas o gaseosas, dichas sustancias no siempre son beneficiosas, en la mayoría de casos ocasionan efectos negativos en el concreto, es por esto que la permeabilidad es un factor predominante en la durabilidad del concreto. No obstante, la normativa técnica peruana, encargada de brindarnos parámetros para elaborar concretos durables, no contempla el ensayo para la obtención del coeficiente de permeabilidad ni recomendaciones afines que garanticen su control. Es por esto que la presente investigación tiene como objetivo elaborar una propuesta de norma técnica e implantarla en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María, esto permitirá realizar dicho ensayo a concretos elaborados con distintas relaciones agua/cemento tales como 0.50, 0.45 y 0.40 (recomendadas por la normativa técnica peruana) y otras complementarias como 0.55 y 0.60; las mezclas considerarán el uso de cementos tipo I, IP y HS para así generar una base de datos que sirva como apoyo al momento de elaborar diseños de mezclas de concretos expuestos a condiciones que puedan afectar su durabilidad. La investigación obtuvo resultados de coeficientes de permeabilidad, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción y el efecto de los tres tipos de cemento mencionados anteriormente sobre estos parámetros. Los datos obtenidos podrán utilizarse en concretos elaborados considerando condiciones similares a las existentes en la presente investigación.

Palabras Clave:

Permeabilidad del concreto, relación agua/cemento, tipo de cemento, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción.

ABSTRACT

The permeability of concrete is the ability of this material to allow the passage of substances, whether liquid or gaseous, such substances are not always beneficial, in most cases they cause negative effects on the concrete, which is why the permeability is a predominant factor in concrete durability. However, the Peruvian technical regulations, in charge of providing us with parameters to develop durable concrete, do not contemplate the test to obtain the permeability coefficient or related recommendations that guarantee its control. That is why this research aims to develop a proposal for a technical standard and implement it in the laboratory of the Catholic University of Santa María, this will allow to perform said test to concrete made with different water/cement ratios such as 0.50, 0.45 and 0.40 (recommended by Peruvian technical regulations) and complementary ones such as 0.55 and 0.60, the mixtures will consider the use of type I, IP and HS cements in order to generate a database that serves as support when developing designs of exposed concrete mixtures to conditions that may affect its durability. The research obtained results of coefficients of permeability, compressive strength, tensile strength and the effect of the three types of cement mentioned above on these parameters. The data obtained may be used in concrete elaborated considering conditions similar to those existing in the present investigation.

Keywords:

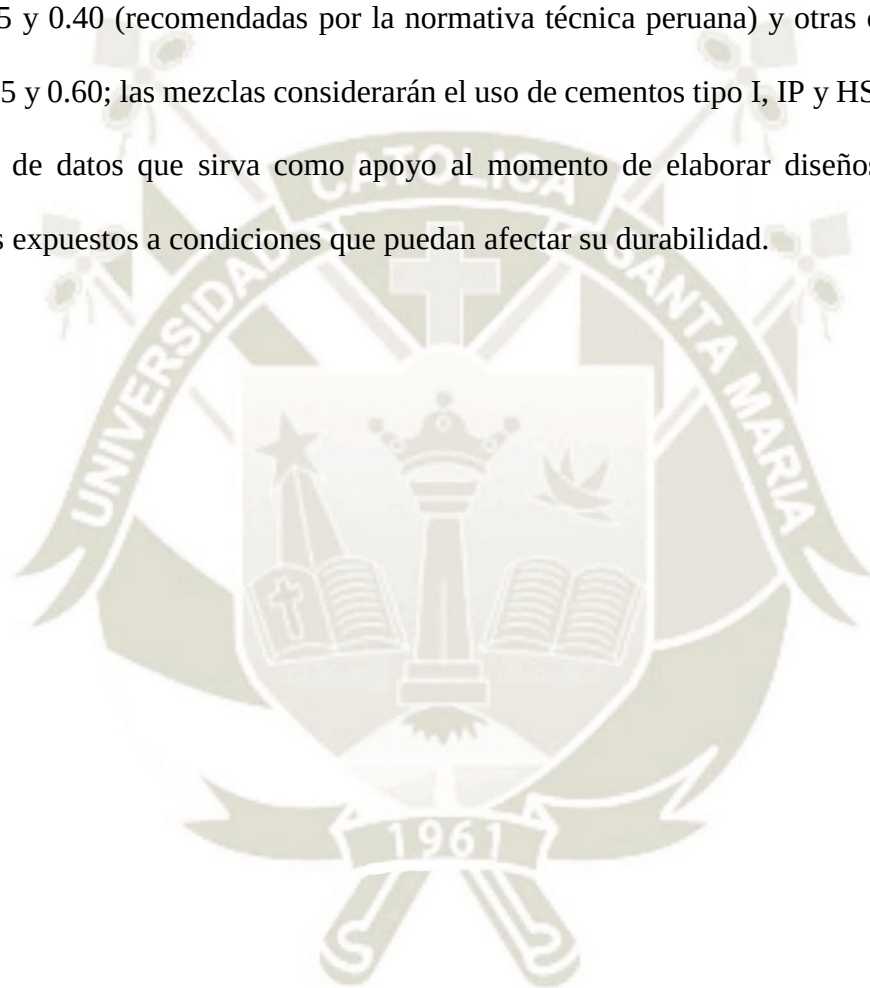
Concrete permeability, water / cement ratio, type of cement, compressive strength, tensile strength.

INTRODUCCIÓN

El concreto es uno de los materiales más utilizados en la industria de la construcción, esto se debe a las distintas bondades que presenta. Mehta y Monteiro (1985) afirma que las principales razones de la preferencia del concreto frente a otros materiales están justificadas por: el bajo costo que presenta acompañado de su fácil obtención, la sencillez con la que puede moldearse logrando distintas formas y dimensiones; por último, su excelente resistencia al agua. Haciendo hincapié en la última cualidad, podemos decir que, a diferencia de otros materiales como el acero y la madera, el concreto expuesto a condiciones hidrológicas no debería sufrir un serio deterioro, sin embargo, es común observar estructuras de concreto deterioradas, con problemas tales como humedad, fisuras, filtraciones y principalmente corrosión del acero embebido. Según la norma ACI 218 (2014) la durabilidad del concreto se ve afectada por el ingreso de sustancias líquidas o gaseosas que a su paso alteran las propiedades del concreto ocasionando que este se debilite. El concreto dañado tiende a fallar, impidiendo que éste cumpla sus funciones en el tiempo de vida útil, requiriendo gastos no contemplados en mantenimiento o en los peores casos reconstrucción; al hacer un análisis a profundidad, se encuentra que las recomendaciones referidas a la durabilidad no son tomadas en cuenta al momento de diseñar la mezcla de concreto, basándose únicamente en la resistencia a la compresión. La norma peruana de concreto armado, en su capítulo 4 “Requisitos de durabilidad” refiere algunas recomendaciones en cuanto a relaciones agua/cemento, resistencia a la compresión y contenido de aire, más no contiene parámetros relacionados a la profundidad de penetración de agua en el concreto o al coeficiente de permeabilidad, principal parámetro de la durabilidad. Entidades investigadoras han encontrado distintos métodos para medir la permeabilidad del concreto, uno de estos está basado en el concepto de profundidad de

penetración y es tomado en cuenta en la normativa de distintos países, entre ellos naciones vecinas como Argentina, Colombia y Chile.

La presente investigación tiene como objetivo elaborar una propuesta de norma técnica e implantarla en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María, esto permitirá realizar dicho ensayo a concretos elaborados con distintas relaciones agua/cemento tales como 0.50, 0.45 y 0.40 (recomendadas por la normativa técnica peruana) y otras complementarias como 0.55 y 0.60; las mezclas considerarán el uso de cementos tipo I, IP y HS para así generar una base de datos que sirva como apoyo al momento de elaborar diseños de mezclas de concretos expuestos a condiciones que puedan afectar su durabilidad.



INDICE

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT	v
INTRODUCCIÓN	vi
CAPÍTULO I.....	1
1 Generalidades	1
1.1 Problema de investigación	1
1.1.1 Enunciado del problema.....	1
1.1.2 Descripción del problema.	1
1.2 Justificación de la investigación.....	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo principal.....	3
1.3.2 Objetivos específicos.	3
1.4 Hipótesis.....	4
1.5 Análisis de variables	5
1.5.1 Variables independientes.	5
1.5.2 Variables dependientes.....	5
1.5.3 Técnicas, Instrumentos y Materiales de Verificación.	5
1.6 Alcance.....	5
1.6.1 Campo y área.....	6
1.6.2 Tipo y nivel de investigación.	6
1.7 Metodología	7
1.7.1 Análisis de normativa de durabilidad.....	7
1.7.2 Propuesta de norma técnica.....	7

1.7.3	Guía de permeabilidad del concreto.....	7
1.7.4	Caracterización de materiales.....	8
1.7.5	Diseños de mezcla considerando diferentes relaciones agua/cemento.	8
1.7.6	Ensayos preliminares.	9
1.7.7	Ensayos definitivos.	9
1.7.8	Capacitación del personal del laboratorio.	9
1.8	Delimitaciones y limitaciones de la investigación	9
1.8.1	Delimitaciones.....	9
1.8.2	Limitaciones.....	10
CAPÍTULO II.		11
2	Marco teórico	11
2.1	Concreto	11
2.1.1	Composición del concreto.....	11
2.1.2	Estructura del concreto.....	13
2.2	Propiedades del concreto en estado fresco.....	14
2.2.1	Asentamiento o Slump.	14
2.2.2	Peso unitario.....	14
2.2.3	Temperatura.	15
2.3	Propiedades del concreto en estado endurecido.....	15
2.3.1	Resistencia a la compresión.	15
2.3.2	Resistencia a la tracción.	16
2.4	Propiedades durables del concreto	16
2.4.1	Durabilidad del concreto.	16
2.5	Deterioro del concreto.....	18
2.5.1	Factores de entorno y agresividad ambiental	18
2.5.2	Patologías del concreto	18
2.6	Porosidad.....	22

2.6.1	Tipos de poros.	22
2.6.2	Medición de porosidad.	23
2.7	Permeabilidad.	24
2.7.2	Ley de Darcy.	26
2.7.3	Ensayos de permeabilidad.	26
CAPÍTULO III.		29
3	Metodología	29
3.1	Análisis de normativa de durabilidad.	29
3.1.1	Cuadro comparativo entre normativas.	29
3.2	Propuesta de norma técnica.	47
3.3	Guía de permeabilidad del concreto.	47
3.4	Caracterización de los materiales.	48
3.3.1	Agregados.	48
3.3.2	Cementos.	75
3.3.3	Aditivos.	77
3.2	Diseño de mezcla.	78
3.2.1	Diseño de mezcla base.	78
3.2.2	Diseño de mezcla corregido según el asentamiento para la misma relación agua/cemento.	87
3.2.3	Diseño de mezcla corregido para otras relaciones agua/cemento.	89
3.3	Ensayos preliminares	91
3.3.1	Dosificaciones oficiales	92
3.4	Ensayos definitivos	95
3.4.1	Ensayos en estado fresco.	95
3.4.2	Ensayos en concreto endurecido	98
3.5	Capacitación del personal del laboratorio.	102

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	104
4.1 Propiedades de los materiales	104
4.1.1 Agregados.	104
4.1.2 Cementos.....	105
4.1.3 Aditivos.....	105
4.2 Propiedades del concreto en estado fresco.....	106
4.2.1 Asentamiento o Slump.	106
4.2.2 Peso unitario.....	106
4.2.3 Temperatura	110
4.3 Propiedades del concreto en estado endurecido.....	111
4.3.1 Permeabilidad.....	111
4.3.2 Resistencia a la compresión.	129
4.3.3 Resistencia a la tracción.	150
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	169
CONCLUSIONES	169
RECOMENDACIONES	172
PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN	174
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	175
ANEXOS	178

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Curva granulométrica de la muestra 1 del agregado grueso.	50
Ilustración 2: Curva granulométrica de la muestra 2 del agregado grueso.	51
Ilustración 3: Curva granulométrica de la muestra 3 del agregado grueso.	52
Ilustración 4: Curva granulométrica del agregado grueso.....	53
Ilustración 5: Curva granulométrica de la muestra 1 del agregado fino.....	63
Ilustración 6: Curva granulométrica de la muestra 2 del agregado fino.....	64
Ilustración 7: Curva granulométrica de la muestra 3 del agregado fino.....	65
Ilustración 8: Curva granulométrica del agregado fino.....	66
Ilustración 9: Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.	107
Ilustración 10: Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.	108
Ilustración 11: Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.	108
Ilustración 12: Comparación de pesos unitarios de las mezclas de concreto.	109
Ilustración 13: Porosidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I...122	
Ilustración 14: Porosidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.123	
Ilustración 15: Porosidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.	123
Ilustración 16: Comparación de porosidades de las mezclas de concreto.....	124
Ilustración 17: Permeabilidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.	125

Ilustración 18: Permeabilidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.	126
Ilustración 19: Permeabilidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.	127
Ilustración 20: Comparación de permeabilidades de las mezclas de concreto.....	128
Ilustración 21: Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.	139
Ilustración 22: Resistencia a la compresión promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo I.....	139
Ilustración 23: Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.....	140
Ilustración 24: Resistencia a la compresión promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo IP.	140
Ilustración 25: Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.	141
Ilustración 26: Resistencia a la compresión promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo HS.....	141
Ilustración 27: Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto-Relación a/c 0.60.	142
Ilustración 28: Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto-Relación a/c 0.55.	143
Ilustración 29: Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto-Relación a/c 0.50.	143
Ilustración 30: Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto-Relación a/c 0.45.	144

Ilustración 31: Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.40.	144
Ilustración 32: Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.	146
Ilustración 33: Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.	147
Ilustración 34: Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.....	148
Ilustración 35: Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I, IP y HS.....	149
Ilustración 36: Resistencia a la tracción de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.	159
Ilustración 37: Resistencia a la tracción promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo I.....	159
Ilustración 38: Resistencia a la tracción de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.....	160
Ilustración 39: Resistencia a la tracción promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo IP.	160
Ilustración 40: Resistencia a la tracción de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.	161
Ilustración 41: Resistencia a la tracción promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo HS.....	161
Ilustración 42: Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.60.	162

Ilustración 43: Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto-Relación a/c 0.55.	163
Ilustración 44: Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto-Relación a/c 0.50.	163
Ilustración 45: Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto-Relación a/c 0.45.	164
Ilustración 46: Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto-Relación a/c 0.40.	164
Ilustración 47: Permeabilidad vs resistencia a la tracción de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.	165
Ilustración 48: Permeabilidad vs resistencia a la tracción de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.	166
Ilustración 49: Permeabilidad vs resistencia a la tracción de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.....	167
Ilustración 50: Permeabilidad vs resistencia a la tracción de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I, IP y HS.....	168
Ilustración 51: Peso del cemento. Ilustración 52: Volumen inicial de petróleo.....	178
Ilustración 53: Volumen final petróleo más cemento.....	178
Ilustración 54: Medición de temperatura. Ilustración 55: Molde para medición de peso unitario.....	179
Ilustración 56: Medición de Slump.	179
Ilustración 57: Probetas a ser ensayadas por permeabilidad.	180
Ilustración 58: Ensayo de permeabilidad. Ilustración 59: Probetas ensayadas.	180
Ilustración 60: Probeta ensayada por permeabilidad.....	181

Ilustración 61: Medición de base de concreto húmedo. Ilustración 62: Probetas ensayadas por permeabilidad.	181
Ilustración 63: Probetas en poza de curado. Ilustración 64: Falla por compresión.	182
Ilustración 65: Probetas fracturadas.	182
Ilustración 66: Falla por tracción.	183
Ilustración 67: Clase de explicación previa.	184
Ilustración 68: Explicación en laboratorio.	184
Ilustración 69: Preparación del ensayo de permeabilidad.	185
Ilustración 70: Ensayo de permeabilidad al concreto.	185
Ilustración 71: Equipo Torrent.	212
Ilustración 72: Máquina de permeabilidad al agua del concreto.	213
Ilustración 73: Soporte de testigos.	214
Ilustración 74: Almohadillas de neopreno.	214
Ilustración 75: Bomba de agua.	215
Ilustración 76: Recipiente de presión.	215
Ilustración 77: Válvulas de control.	216
Ilustración 78: Tablero de control.	216
Ilustración 79: Panel de control.	217
Ilustración 80: Indicador 1 y 2 respectivamente.	217
Ilustración 81: Manómetro.	218
Ilustración 82: Mesa de trabajo.	218
Ilustración 83: Molde cilíndrico.	219
Ilustración 84: Curva granulométrica del agregado grueso.	222
Ilustración 85: Curva granulométrica del agregado fino.	222
Ilustración 86: Porosidad del concreto - cemento tipo I, IP y HS.	223

Ilustración 87: Permeabilidad del concreto utilizando cemento tipo I	224
Ilustración 88: Permeabilidad del concreto utilizando cemento tipo IP	224
Ilustración 89: Permeabilidad del concreto utilizando cemento tipo HS.	225
Ilustración 90: Comparación de permeabilidades de las mezclas de concreto.....	225



INDICE DE ECUACIONES

(1) Formula de la porosidad	23
(2) Ley de Darcy.....	26
(3) Formula de la porosidad	27
(4) Porcentaje de material retenido.....	49
(5) Porcentaje de material retenido acumulado, primer tamiz	49
(6) Porcentaje de material retenido acumulado, otros tamices.....	49
(7) Porcentaje de material pasante.....	50
(8) Volumen del recipiente.....	55
(9) Peso unitario	55
(10) Peso específico de masa.....	58
(11) Peso específico saturado superficialmente seco	58
(12) Peso específico aparente	58
(13) Porcentaje de absorción	58
(14) Contenido de humedad	60
(15) Porcentaje de material retenido.....	62
(16) Porcentaje de material retenido acumulado, primer tamiz	62
(17) Porcentaje de material retenido acumulado, otros tamices.....	62
(18) Porcentaje de material pasante.....	62
(19) Volumen del recipiente.....	68
(20) Peso unitario	68
(21) Densidad de masa	71
(22) Peso específico saturado superficialmente seco	72
(23) Peso específico aparente	72

(24) Porcentaje de absorción	72
(25) Contenido de humedad	74
(26) Peso específico.....	76
(27) Corrección del peso de agregado	86
(28) Corrección de volumen de agua.....	86
(29) Volumen del recipiente	97
(30) Peso unitario	97
(31) Profundidad media.....	99
(32) Coeficiente de permeabilidad	100
(33) Esfuerzo a tracción.....	102
(34) Ecuación de la permeabilidad de mezclas elaboradas con cemento tipo I	125
(35) Ecuación de la permeabilidad de mezclas elaboradas con cemento tipo IP	126
(36) Ecuación de la permeabilidad de mezclas elaboradas con cemento tipo HS.....	127
(37) Ecuación de la permeabilidad vs compresión – cemento tipo I.....	147
(38) Ecuación de la permeabilidad vs compresión – cemento tipo IP	148
(39) Ecuación de la permeabilidad vs compresión – cemento tipo HS.....	148
(40) Ecuación de la permeabilidad vs tracción – cemento tipo I	166
(41) Ecuación de la permeabilidad vs tracción – cemento tipo IP	166
(42) Ecuación de la permeabilidad vs tracción – cemento tipo HS.....	167

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Definición y operacionalización de las variables.	5
Tabla 2: Clasificación y nomenclatura - Exposición a congelamiento y deshielo.	30
Tabla 3: Clasificación y nomenclatura - Exposición a sulfatos.	31
Tabla 4: Clasificación y nomenclatura - Exposición al agua y riesgo de corrosión.....	32
Tabla 5: Clasificación y nomenclatura – Riesgo de corrosión.	33
Tabla 6: Clasificación y nomenclatura – Agresividad ambiental y/o general.....	34
Tabla 7: Exposición a congelamiento y deshielo – Disposiciones generales, relación máxima a/mc.	35
Tabla 8: Exposición a congelamiento y deshielo – F’c mínimo, contenido total de aire (%).	36
Tabla 9: Exposición a congelamiento y deshielo – Requisitos para concreto expuesto a productos químicos descongelantes, penetración de agua o succión capilar.	37
Tabla 10: Exposición a sulfatos – Disposiciones generales.	38
Tabla 11: Exposición a sulfatos – Tipo de cemento a usar.	39
Tabla 12: Exposición a sulfatos – Relación máxima a/mc, f’c mínimo, aditivo cloruro de calcio, penetración de agua o succión capilar.	40
Tabla 13: Exposición a sulfatos – Combinación de materiales cementantes, dosis mínima de cemento, porcentaje de expansión según ASTM C 1012, contenido de C3A en el cemento (%).	41
Tabla 14: Contacto con el agua – Disposiciones generales, relación máxima a/mc, f’c mínimo, profundidad de penetración de agua.	42
Tabla 15: Agresividad ambiental y/o general – Disposiciones generales, relación máxima a/mc, f’c mínimo, profundidad de penetración de agua o succión capilar.	43

Tabla 16: Riesgo de corrosión – Disposiciones generales.	44
Tabla 17: Riesgo de corrosión – Contenido máximo de iones cloruro.	45
Tabla 18: Riesgo de corrosión – Relación máxima a/mc, f'c mínimo, penetración de agua o succión capilar, dosis mínima de cemento.	46
Tabla 19: Granulometría del agregado grueso - muestra 1.	50
Tabla 20: Granulometría del agregado grueso - muestra 2.	51
Tabla 21: Granulometría del agregado grueso - muestra 3.	52
Tabla 22: Granulometría del agregado grueso.	53
Tabla 23: Muestras de ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso.	55
Tabla 24: Peso unitario suelto del agregado grueso.	56
Tabla 25: Muestras de ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso.	56
Tabla 26: Peso unitario compactado del agregado grueso.	56
Tabla 27: Muestras de ensayo de peso específico del agregado grueso.	58
Tabla 28: Peso específico de masa del agregado grueso.	59
Tabla 29: Peso específico saturado superficialmente seco del agregado grueso.	59
Tabla 30: Peso específico aparente del agregado grueso.	59
Tabla 31: Porcentaje de absorción del agregado grueso.	59
Tabla 32: Muestra de ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.	61
Tabla 33: Contenido de humedad del agregado grueso.	61
Tabla 34: Granulometría del agregado fino - muestra 1.	63
Tabla 35: Granulometría del agregado fino - muestra 2.	64
Tabla 36: Granulometría del agregado fino - muestra 3.	65
Tabla 37: Granulometría del agregado fino.	66
Tabla 38: Muestras de ensayo de peso unitario suelto del agregado fino.	68
Tabla 39: Peso unitario suelto del agregado fino.	69

Tabla 40: Muestras de ensayo de peso unitario compactado del agregado fino.	69
Tabla 41: Peso unitario compactado del agregado fino.....	69
Tabla 42: Muestras de ensayo de peso específico del agregado fino.	72
Tabla 43: Densidad de masa del agregado fino.....	72
Tabla 44: Densidad saturado superficialmente seco de la muestra del agregado fino. ..	73
Tabla 45: Densidad aparente del agregado fino.	73
Tabla 46: Porcentaje de absorción del agregado fino.....	73
Tabla 47: Muestra de ensayo de contenido de humedad del agregado fino.	75
Tabla 48: Contenido de humedad del agregado fino.....	75
Tabla 49: Peso específico del cemento Yura tipo I.	77
Tabla 50: Peso específico del cemento Yura tipo HS.	77
Tabla 51: Datos del agregado fino.....	78
Tabla 52: Datos del agregado grueso.	78
Tabla 53: Datos del cemento.	78
Tabla 54: Resistencia a la compresión promedio.	79
Tabla 55: Selección se asentamiento.....	80
Tabla 56: Volumen unitario de agua.	81
Tabla 57: Contenido de aire atrapado.....	82
Tabla 58: Contenido de aire total.	82
Tabla 59: Relación agua/cemento por resistencia.	83
Tabla 60: Relación agua/cemento por durabilidad.....	83
Tabla 61: Peso del agregado grueso por unidad de volumen.	84
Tabla 62: Volúmenes absolutos secos sin agregado fino.	85
Tabla 63: Valores de diseño en seco.	85
Tabla 64: Corrección del peso del agregado.	86

Tabla 65: Corrección de volumen de agua.	86
Tabla 66: Proporciones finales en peso.	87
Tabla 67: Pesos por tanda de una bolsa.	87
Tabla 68: Dosificaciones oficiales cemento tipo I.	92
Tabla 69: Dosificaciones oficiales cemento tipo IP.	93
Tabla 70: Dosificaciones oficiales cemento tipo HS.	94
Tabla 71: Asentamiento de las mezclas de concreto.	106
Tabla 72: Datos del molde de peso unitario.	106
Tabla 73: Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.	107
Tabla 74: Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP. ..	107
Tabla 75: Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS. ..	108
Tabla 76: Temperatura de las mezclas de concreto.	110
Tabla 77: Datos generales para el ensayo de permeabilidad.	111
Tabla 78: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo I.	112
Tabla 79: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo I.	112
Tabla 80: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo I.	112
Tabla 81: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo I.	113
Tabla 82: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo I.	113
Tabla 83: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo I.	113
Tabla 84: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo I.	114
Tabla 85: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo I.	114

Tabla 86: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo I.	114
Tabla 87: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo I.	115
Tabla 88: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo IP.	115
Tabla 89: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo IP.	115
Tabla 90: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo IP.	116
Tabla 91: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo IP.	116
Tabla 92: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo IP.	116
Tabla 93: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo IP.	117
Tabla 94: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo IP.	117
Tabla 95: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo IP.	117
Tabla 96: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo IP.	118
Tabla 97: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo IP.	118
Tabla 98: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo HS.	118

Tabla 99: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo HS.....	119
Tabla 100: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo HS.	119
Tabla 101: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo HS.	119
Tabla 102: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo HS.	120
Tabla 103: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo HS.	120
Tabla 104: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo HS.	120
Tabla 105: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo HS.	121
Tabla 106: Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo HS.	121
Tabla 107: Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo HS.	121
Tabla 108: Porosidad de las mezclas de concreto.	122
Tabla 109: Coeficiente de permeabilidad de las mezclas de concreto.	125
Tabla 110: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo I.	130
Tabla 111: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo I.	131

Tabla 112: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo I.	131
Tabla 113: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo I.	132
Tabla 114: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo I.	132
Tabla 115: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo IP.	133
Tabla 116: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo IP.	133
Tabla 117: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo IP.	134
Tabla 118: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo IP.	134
Tabla 119: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo IP.	135
Tabla 120: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo HS.	135
Tabla 121: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo HS.	136
Tabla 122: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo HS.	136
Tabla 123: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo HS.	137

Tabla 124: Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo HS.	137
Tabla 125: Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto.....	138
Tabla 126: Resistencia a la compresión de norma peruana E 0.60 vs resultados de laboratorio.....	145
Tabla 127: Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas elaboradas con cemento tipo I, IP y HS.	146
Tabla 128: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo I.....	151
Tabla 129: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo I.....	151
Tabla 130: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo I.....	152
Tabla 131: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo I.....	152
Tabla 132: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo I.....	153
Tabla 133: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo IP.....	153
Tabla 134: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo IP.....	154
Tabla 135: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo IP.....	154
Tabla 136: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo IP.....	155

Tabla 137: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo IP.....	155
Tabla 138: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo HS.	156
Tabla 139: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo HS.	156
Tabla 140: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo HS.	157
Tabla 141: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo HS.	157
Tabla 142: Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo HS.	158
Tabla 143: Resistencia a la tracción de las mezclas de concreto.	158

CAPÍTULO I.

1 Generalidades

1.1 Problema de investigación

1.1.1 Enunciado del problema.

La permeabilidad del concreto no es considerada como una propiedad determinante en la elaboración de concretos ya que los diseños de mezcla se elaboran de acuerdo a requerimientos de resistencia, mas no de permeabilidad y la normativa peruana no contempla el ensayo específico para la obtención de este parámetro.

1.1.2 Descripción del problema.

Mehta y Monteiro (1985) comenta que los altos costos en reparación y sustitución de estructuras deterioradas de concreto, hacen que los ingenieros civiles se vean obligados considerar el diseño de mezclas de concreto bajo el concepto de durabilidad, dependiendo principalmente de la permeabilidad del concreto.

Según el ACI 201 (2008) existen ciertas condiciones ambientales que pueden causar deterioro en el concreto, los mecanismos de ataque pueden ser físicos, químicos o mecánicos, originados por causas internas o externas, trabajando de forma sinérgica o individual, cualquiera sea el caso, se producirá diversos efectos negativos en el concreto tales como humedad, presencia de fisuras, filtraciones, procesos orgánicos, ataque de sulfatos y principalmente corrosión del acero embebido. Todos los procesos mencionados, pueden ser

menguados reduciendo la permeabilidad del concreto; no obstante, la normatividad peruana, no cuenta con información suficiente en cuanto a ensayos, rangos aceptables y otras apreciaciones, que permitirían controlar este parámetro; en la actualidad, los ingenieros civiles toman en cuenta la resistencia a la compresión como el parámetro más importante para determinar la calidad del concreto, aun cuando se sabe que esta propiedad no es la única influyente.

1.2 Justificación de la investigación

La importancia del estudio de la permeabilidad del concreto, es cada vez más relevante, debido a que esta propiedad está directamente relacionada con la durabilidad de las estructuras, es por esto que en la última década ha sido estudiada por varias entidades investigadoras, hallándose una estrecha relación entre factores como la relación agua/cemento, tipo de cemento y tiempo de curado con la permeabilidad en estado endurecido.

El estudio y control de la permeabilidad, permitirá la elaboración de concretos durables, evitando así costos extras en reparación y reconstrucción de estructuras importantes expuestas a agentes dañinos tales como cimentaciones, losas de concreto, canales, presas, entre otras vitales en la sociedad.

La construcción de estructuras de concreto bajo este concepto, brindará seguridad a los ocupantes de éstas, evitando accidentes que involucren pérdidas de vidas humanas, interrupción de vías de comunicación o de servicios básicos, entre otras posibles consecuencias.

La incorporación del ensayo de permeabilidad al agua del concreto en la normativa técnica peruana permitirá la consideración de un nuevo parámetro para un mejor control de las propiedades durables del concreto.

La implementación del ensayo de permeabilidad al agua en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María contribuirá con el avance tecnológico e investigativo, ya que se estará incorporando un ensayo sofisticado y único, no encontrado en otras universidades de la ciudad de Arequipa.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo principal.

Redactar la propuesta de norma técnica “Ensayo de permeabilidad al agua del concreto” e implementar el ensayo de permeabilidad al agua del concreto en la Universidad Católica de Santa María.

1.3.2 Objetivos específicos.

1. Realizar un cuadro comparativo de los parámetros sobre la durabilidad del concreto de las normativas de Perú, Estados Unidos, Argentina, Chile y Colombia.
2. Elaborar una “Guía de permeabilidad del concreto” que contenga datos teóricos importantes, un manual de utilización de la máquina de permeabilidad del concreto y recomendaciones afines.
3. Brindar una charla de capacitación de cómo utilizar la máquina de permeabilidad del concreto dirigida al personal del laboratorio de la Universidad Católica de Santa María.
4. Hallar el revenimiento de las mezclas de concreto elaboradas con diferentes relaciones agua/cemento empleando cemento tipo I, IP y HS.
5. Hallar el peso unitario en estado fresco de las mezclas de concreto elaboradas con diferentes relaciones agua/cemento empleando cemento tipo I, IP y HS.

6. Hallar la temperatura de las mezclas de concreto elaboradas con diferentes relaciones agua/cemento empleando cemento tipo I, IP y HS.
7. Hallar el coeficiente de permeabilidad de las mezclas de concreto elaboradas con diferentes relaciones agua/cemento empleando cemento tipo I, IP y HS.
8. Analizar la relación permeabilidad – tipo de cemento.
9. Hallar la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto elaboradas con diferentes relaciones agua/cemento empleando cemento tipo I, IP y HS.
10. Analizar la relación permeabilidad – resistencia a la compresión del concreto.
11. Hallar la resistencia a la tracción de las mezclas de concreto elaboradas con diferentes relaciones agua/cemento empleando cemento tipo I, IP y HS.
12. Analizar la relación permeabilidad – resistencia a la tracción del concreto.

1.4 Hipótesis

Dado que las estructuras actuales de concreto son vulnerables a la acción del medio ambiente debido a que no se considera la permeabilidad como parámetro influyente en el diseño, es probable que, con la incorporación de un nuevo ensayo para su obtención y un análisis adecuado de esta propiedad en concretos elaborados con diferentes relaciones agua/cemento y tipos de cemento, se pueda generar una base de datos que sirva como apoyo al momento de diseñar un concreto bajo diversos tipos de exposición.

1.5 Análisis de variables

1.5.1 Variables independientes.

Diseños de mezcla de concreto realizados con diferentes relaciones agua/cemento y diferentes tipos de cemento.

1.5.2 Variables dependientes.

Propiedades durables y mecánicas del concreto.

1.5.3 Técnicas, Instrumentos y Materiales de Verificación.

A continuación, se presenta una tabla de definición de variables.

Tabla 1:
Definición y operacionalización de las variables.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumentos
Diseño de mezcla (INDEPENDIENTE)	El conjunto de elementos elegidos para formar parte de la mezcla.	- Relación agua/ cemento - Tipo de cemento	- Cociente de la cantidad de agua versus la cantidad de cemento. - Elección del tipo de cemento a utilizar.	Cálculos empíricos.	Hoja de cálculo, métodos estadísticos.
Propiedades durables y mecánicas del concreto. (DEPENDIENTE)	Conjunto de características propias de un material que hacen que éste tenga un comportamiento determinado ante distintos estímulos. Esto varía de acuerdo a sus componentes.	Propiedades físicas del concreto en estado fresco y endurecido.	- Coeficiente de permeabilidad del concreto. - Resistencia característica a la compresión del concreto. - Resistencia a la tracción del concreto. - Peso unitario. - Slump. - Temperatura.	Experimentación en laboratorio.	- Equipos de laboratorio. - Hoja de cálculo.

Fuente: Elaboración propia.

1.6 Alcance

La presente investigación tiene como alcance redactar la propuesta de norma técnica “Ensayo de permeabilidad al agua del concreto” la cual contendrá el procedimiento, requisitos y recomendaciones para elaborar dicho ensayo.

Posteriormente analizar la permeabilidad y resistencia de concretos elaborados con diferentes relaciones agua/cemento sugeridas por la normativa peruana (0.50, 0.45 y 0.40) y otros complementarios (0.60 y 0.55), utilizando cemento tipo I, IP, HS y agregados de la cantera “La Poderosa”; se elaborarán un total de 461 probetas cilíndricas tomando en cuenta el método de diseño ACI 211.1.

Por último, se implementará dicho ensayo en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María.

1.6.1 Campo y área.

- Área: Ingeniería y tecnología.
- Subárea: Ingeniería civil.
- Disciplina: Ingeniería de construcción.

1.6.2 Tipo y nivel de investigación.

- a) Por el tipo de conocimiento: Se realizará un estudio correlacional dado que analizaremos la permeabilidad de concreto elaborado con diferentes relaciones agua/cemento y diferentes tipos de cemento para así encontrar un comportamiento patrón.
- b) Por el enfoque: Se realizará un estudio cuantitativo ya que es necesario una recolección de datos como coeficiente de permeabilidad, resistencia a la compresión y resistencia a la tracción que certifiquen la investigación.
- c) Por el diseño o estrategia de trabajo: Se realizará un estudio experimental dado que los datos a recolectar se emplearán para determinar el efecto de la relación agua/cemento y tipo de cemento en la permeabilidad.
- d) Por el periodo de tiempo: Se realizará un estudio vertical, la investigación se realizará en un tiempo definido (5 meses).

- e) Por su naturaleza: Se realizará un estudio aplicado ya que cuenta con un propósito definido y está basada en investigaciones básicas previas.
- f) Por su finalidad: Se realizará un estudio tecnológico ya que el estudio está orientado a poner en conocimiento un nuevo método que permite analizar la permeabilidad del concreto.

1.7 Metodología

La presente investigación estará basada en la siguiente metodología.

1.7.1 Análisis de normativa de durabilidad.

Se realizará un cuadro comparativo de normativas referidas a la durabilidad del concreto de los países: Perú, Estados Unidos, Argentina, Colombia y Chile; se analizará la nomenclatura utilizada, el tipo de clasificación y los valores máximos y mínimos propuestos.

1.7.2 Propuesta de norma técnica.

Se redactará una propuesta de norma técnica del ensayo de permeabilidad al agua en el concreto, esta contendrá el procedimiento de ejecución y recomendaciones para un proceso exitoso.

1.7.3 Guía de permeabilidad del concreto.

Se tomará como base el “Manual de utilización del equipo de permeabilidad al agua del concreto” del proyecto de semilleros de investigación antes mencionado, el cual contendrá las partes y el tipo de manejo del equipo acotando algunas recomendaciones generales.

1.7.4 Caracterización de materiales.

Los ensayos serán elaborados en el laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María. Se procederá a utilizar los datos expuestos en el “INFORME DE PROPIEDADES DE LOS MATERIALES USADOS EN LA INVESTIGACIÓN” del proyecto de semilleros de investigación denominado “ANÁLISIS DE LA PERMEABILIDAD EN LA DURABILIDAD Y RESISTENCIA DE CONCRETOS CONVENCIONALES Y CON ADICIÓN DE NANOSÍLICE EN LA CIUDAD DE AREQUIPA E IMPLEMENTACIÓN DE ENSAYO DE PERMEABILIDAD EN EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA” debido a que se utilizaron los mismos materiales. Estos datos estarán debidamente referenciados en el capítulo III y serán complementados con resultados de ensayos propios de la presente tesis.

- Agregados: Se utilizaron agregados provenientes de la cantera “La Poderosa” ubicada en el distrito de Uchumayo en la ciudad de Arequipa. Se realizaron los ensayos de granulometría, peso unitario, peso específico y contenido de humedad.
- Cementos: Se utilizó cemento de la marca Yura de los tipos I, IP y HS. Se realizó el ensayo de peso específico de los cementos tipo I y HS.

1.7.5 Diseños de mezcla considerando diferentes relaciones agua/cemento.

Se realizó un diseño de mezcla base utilizando el método de diseño ACI 211 el cual posteriormente será modificado, el procedimiento será explicado a detalle en el Capítulo III.

1.7.6 Ensayos preliminares.

Se realizaron vaciados de prueba considerando relaciones agua/cemento de 0.60, 0.55, 0.50, 0.45 y 0.40 con el fin de obtener los requerimientos del diseño y el Slump propuesto.

1.7.7 Ensayos definitivos.

Teniendo las dosificaciones que cumplan con lo establecido, se procederá al vaciado de 461 probetas cilíndricas de tamaños 30cmx15cm (ensayo de permeabilidad), 20cmx10cm (ensayo de compresión axial y diametral) y 10cmx10cm (ensayo de porosidad).

- Ensayos en estado fresco: Se realizaron los ensayos de Slump, peso unitario y temperatura.
- Ensayos en estado endurecido: Se realizaron los ensayos de compresión axial, compresión diametral, porosidad y permeabilidad del concreto.

1.7.8 Capacitación del personal del laboratorio.

Se brindará una charla de capacitación al personal del laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María.

1.8 Delimitaciones y limitaciones de la investigación

1.8.1 Delimitaciones.

Los resultados de la investigación podrán ser utilizados como referencia para las mezclas de concreto realizadas en la ciudad de Arequipa, tomando en cuenta materiales con propiedades similares a las utilizadas.

1.8.2 Limitaciones.

La principal limitación en esta investigación fue la reducida cantidad de probetas a ser ensayadas en la máquina de permeabilidad al agua del concreto y la duración de este ensayo, lo cual, extiende el tiempo de duración de la investigación.

La máquina de permeabilidad al agua del concreto tiene una capacidad de ensayo de seis probetas, estas permanecen en la maquina un lapso de 96 horas, esto nos limita a hacer el vaciado de dos mezclas con diferentes relaciones agua/cemento a la semana.

CAPÍTULO II.

2 Marco teórico

2.1 Concreto

Según el ASTM C125 (2010) el concreto puede definirse como una mezcla de material aglomerante y agregados. Dicha mezcla al solidificarse, puede resistir esfuerzos grandes de compresión.

2.1.1 Composición del concreto.

2.1.1.1 *Agua de mezcla*

La norma NTP 339.088 (2014) señala que el agua es el componente encargado de producir las reacciones químicas en los materiales cementantes de la mezcla, así mismo, recomienda el uso de agua potable; otro tipo de agua puede ser utilizado siempre y cuando cumpla con los parámetros indicados en dicha norma.

2.1.1.2 *Agregado*

Los agregados también llamados áridos se clasifican según el tamaño de presentación, pueden ser finos (arena) y gruesos (grava), de origen natural o artificial. La Norma NTP 400.037 (2018) nos brinda parámetros necesarios para que este material sea de calidad.

2.1.1.3 *Aire*

La norma NTP 339.047 (2014) nos brinda dos presentaciones habituales del aire en el concreto.

2.1.1.3.1 *Aire accidental*

Vacíos presentes en la mezcla de concreto generados de manera no intencional, pueden medir desde 1mm y su presencia no mejora el comportamiento de la mezcla.

2.1.1.3.2 *Aire incorporado*

Vacíos presentes en la mezcla generados de manera intencional con el uso de un aditivo, su tamaño promedio oscila entre los 10 μm y 1000 μm , su presencia mejora la trabajabilidad en estado fresco y el comportamiento de concretos expuestos a bajas temperaturas.

2.1.1.4 *Cemento*

Material compuesto principalmente por silicatos de calcio hidráulico, estos al estar en contacto con el agua de mezcla, reaccionan químicamente convirtiéndose en el principal aglomerante del concreto. La norma NTP 334.090 (2016) y NTP 334.082 (2016) nos brindan clasificaciones de cementos adicionados y los requisitos químicos y físicos que estos deben cumplir.

2.1.1.4.1 *Tipos de cemento*

La NTP 334.090 (2013) nos brinda la siguiente clasificación de cementos de uso general, en la cual encontramos requisitos físicos, químicos y además especifica porcentajes mínimos y máximos de adiciones.

- Cemento Portland tipo IS: Contiene adición de escoria de alto horno hasta en un 70%.
- Cemento Portland tipo IP: Contiene adición de puzolana hasta en un 40%.
- Cemento Portland tipo I(PM): Cemento portland modificado contiene adición de puzolana hasta en un 15%.

- Cemento Portland tipo IL: Cemento Portland calizo contiene de 5% a 15% de filler calizo.
- Cemento Portland tipo ICO: Cemento Portland compuesto contiene adición de filler calizo u otro material hasta en un 30%.
- Cemento Portland ternario IT: Contiene dos adiciones.

La NTP 334.082 (2016) nos brinda la siguiente clasificación de cementos Portland, la cual toma en cuenta únicamente requisitos físicos y comportamiento (performance) de estos, por lo que no establece un rango de porcentajes del material adicionado.

- Cemento Portland tipo GU: De uso general.
- Cemento Portland tipo HE: Desarrolla una resistencia inicial alta.
- Cemento Portland tipo MS: Desarrolla una resistencia moderada a sulfatos.
- Cemento Portland tipo HS: Desarrolla resistencia a sulfatos.
- Cemento Portland tipo MH: Desarrolla calor de hidratación moderado.
- Cemento Portland tipo LH: Desarrolla calor de hidratación bajo.

2.1.2 Estructura del concreto.

2.1.2.1 Material aglomerante.

El material aglomerante también llamado pasta, está conformado por materiales cementantes (generalmente cemento Portland), agua, aire (atrapado o incluido) y adicionalmente puede contener la presencia de aditivos que contribuyan a la mejora de las propiedades de la mezcla.

2.1.2.2 Agregados.

Constituyen el mayor porcentaje de la mezcla, debido a esto, deben soportar las demandas de esfuerzo y condiciones de exposición requeridas por el constructor.

2.1.2.3 Zona de transición.

Según Mehta y Monteiro (1985) el tercer componente de la estructura del concreto, poco mencionado debido a que no se encuentra a simple vista, cubre al agregado adoptando la forma de un cascarón de espesor microscópico, es la zona más débil, esto repercute en las propiedades mecánicas del concreto.

Un concreto bien elaborado depende de la integración de sus elementos, la pasta debe abarcar cada espacio, cubriendo totalmente al agregado; la buena adherencia hará que el material trabaje como un elemento macizo.

2.2 Propiedades del concreto en estado fresco.

2.2.1 Asentamiento o Slump.

Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, (2004) comenta que este ensayo tiene como finalidad medir la consistencia del concreto (su capacidad de fluir); también es elaborado para tener un indicador de trabajabilidad (facilidad de colocación). Cada estructura de concreto demanda un revenimiento particular, este será elegido según las condiciones del vaciado. El procedimiento y datos importantes están presentes en la norma NTP 339.035 (2015).

2.2.2 Peso unitario.

Según la NTP 339.046 (2008) este ensayo tiene como finalidad la obtención de la densidad del concreto fresco para un posterior cálculo de su

rendimiento, contenido de cemento y contenido de aire. El procedimiento y otros datos importantes pueden encontrarse en dicha norma.

2.2.3 Temperatura.

La temperatura del concreto es considerada un parámetro preponderante, tanto en estado fresco como en estado endurecido; este valor depende de muchos factores como la composición química del cemento, temperatura del agua de mezcla, condiciones climáticas entre otras. La norma NTP 339.184 (2013) nos brinda el procedimiento y recomendaciones a seguir para el cálculo de la temperatura en estado fresco.

2.3 Propiedades del concreto en estado endurecido

2.3.1 Resistencia a la compresión.

Según Mehta y Monteiro (1985) es la respuesta del concreto endurecido frente a un esfuerzo aplicado, se produce debido a la propagación de fisuras internas. La resistencia a la compresión depende básicamente de tres factores

- Proporciones y características de materiales: Principalmente la relación agua/cemento, al aumentar este valor, la cantidad de poros en la matriz aumenta por lo que se produce un debilitamiento progresivo. Otros parámetros que a tomar en cuenta son: contenido de aire, tipo de cemento, aditivos y características del agregado como tamaño, granulometría, textura y composición mineralógica.
- Curado: Proceso que promueve a la hidratación del cemento, depende de las condiciones de saturación en las que se encuentra el concreto; el proceso de hidratación del cemento definirá la porosidad y por ende la resistencia

del concreto. Otros factores a tomar en cuenta serán la humedad, temperatura y tiempo de curado.

- **Parámetro de prueba:** Puede dividirse en
 - **Parámetros de especímenes:** Considerando las dimensiones, forma y humedad del concreto. Lo ideal es que el espécimen de concreto tenga una relación altura/diámetro igual a 2 y sea ensayado en estado saturado.
 - **Parámetros de la carga:** Nivel, duración y velocidad con la que el esfuerzo es aplicado.

2.3.2 Resistencia a la tracción.

Mehta y Monteiro (1985) comentan que en el concreto ensayado a tracción las grietas se propagan con mayor facilidad, por lo que su resistencia se reduce a un 7% a 10% de la resistencia a la compresión, es por esto que las estructuras de concreto son diseñadas suponiendo que solo deberán resistir esfuerzos a compresión.

2.4 Propiedades durables del concreto

2.4.1 Durabilidad del concreto.

“La durabilidad es la habilidad que tiene el concreto para soportar el intemperismo, ataques químicos, abrasión o cualquier otro tipo de deterioro.” (Comité ACI 201, 2008, p.201.2R-2). Entonces, un concreto durable es aquel que cumple con el tiempo de vida previsto conservando su forma, calidad y servicio estando expuesto al medio ambiente (Mehta y Monteiro, 1985); puede elaborarse analizando todos los factores que causen degradación del mismo (dependerá de las condiciones de exposición en las que se encuentre) para así

aminorar su efecto en las etapas de proyección, ejecución y uso (Enrique Rivva, 2006). La durabilidad tanto como la resistencia, debe ser considerada en la etapa de diseño.

2.4.1.1 Factores que afectan la durabilidad del concreto.

La durabilidad se ve afectada principalmente por el deterioro, el cual puede ser producido por factores diversos factores, entre los más influyentes tenemos la humedad, temperatura y presión, estos son responsables de patologías físicas, químicas y mecánicas en el concreto (Rivva, 2006).

2.4.1.2 Vida prevista y vida útil

Enrique Rivva, (2006) refiere:

2.4.1.2.1 Vida prevista.

Es el periodo en el cual una estructura cumplirá con las condiciones de servicio consideradas en su diseño sin que ésta genere gastos extras en mantenimiento y reparación.

2.4.1.2.2 Vida útil.

Es el periodo contemplado desde la construcción hasta que la estructura alcance una escala de deterioro aceptable.

2.4.1.2.3 Vida útil total.

Es el periodo contemplado desde la construcción hasta que la estructura colapse de forma parcial o total.

2.5 Deterioro del concreto

Mehta, Monteiro y Neville concuerdan en que el deterioro del concreto se produce por transporte de fluidos a través del concreto. El agua en sus distintos estados, es considerada uno de los principales agentes destructivos, ya que ésta puede transportar agentes dañinos que alteren la composición y comportamiento del concreto.

2.5.1 Factores de entorno y agresividad ambiental

El entorno o medio ambiente en el cual se encuentra la estructura influye de manera directa sobre el deterioro de la misma, es por esto que para realizar una clasificación de la agresividad del medio ambiente se deben tener en cuenta el macroclima, clima y microclima en el cual se encuentra inmersa la estructura. (Rivva, 2006)

2.5.2 Patologías del concreto

2.5.2.1 Deterioro producido por procesos físicos.

2.5.2.1.1 Agrietamiento.

El agrietamiento afecta directamente la durabilidad del concreto permitiendo el paso de sustancias con agentes dañinos. El concreto puede sufrir varios tipos de agrietamiento, entre ellos: el agrietamiento plástico por contracción (concreto fresco), agrietamiento por contracción debido al secado y el agrietamiento por cambios de temperatura. (Neville, 2013)

2.5.2.1.2 Acción del congelamiento.

Es considerado uno de los más nocivos para el concreto. El congelamiento del agua contenida en el concreto, genera presión hidráulica, esta a su vez, ocasiona la expansión de la pasta de cemento; el proceso producido en

forma repetitiva da lugar al agrietamiento y descascaramiento de la estructura de concreto.

Se proponen algunas opciones para minimizar el daño causado por este problema, como: Incorporar aire a la mezcla (estas burbujas microscópicas albergarán el agua en exceso aminorando la presión hidráulica) y tener una mezcla con baja relación agua cemento (previene la saturación del concreto) (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)

2.5.2.1.3 Erosión.

Se considerará la erosión causada por el movimiento del agua, por las partículas que lleva en ella y la erosión debida a otro tipo de partículas. Dependerá básicamente de la forma, cantidad, tamaño, velocidad y frecuencia de la materia en contacto con el concreto. (Neville, 2013)

2.5.2.2 Deterioro producido por procesos químicos.

Es causado principalmente por el transporte de fluidos a través del concreto. Mayormente se da debido a las reacciones de agentes agresivos encontrados en el ambiente y componentes químicos de la pasta de cementos, con algunas excepciones como la reacción álcali agregado producto de materiales reactivos presentes en el agregado y cemento.

Se considera un ambiente agresivo cualquiera que tenga un pH menor a 12.5, desde este punto de vista, la mayoría de líquidos naturales e industriales serían perjudiciales para el concreto, no obstante, la velocidad de ataque de algunas mezclas, dependiente de la permeabilidad del concreto y el grado de pH de la sustancia agresiva, será tan lenta que no se tomará en cuenta.

Los efectos de las reacciones químicas, traen consigo efectos físicos en el concreto como incremento de permeabilidad y porosidad, agrietamiento, reducción de resistencia, entre otros perjudiciales. (Mehta & Monteiro, 1985)

2.5.2.2.1 Reactividad álcali agregado.

Se da cuando el agregado utilizado contiene minerales activos que reaccionan con los hidróxidos de los álcalis contenidos del concreto. Esto ocasiona una red de agrietamiento que puede alterar la funcionalidad de la estructura o dar paso a nuevos problemas debido al fácil ingreso de sustancias nocivas al interior del concreto.

La reacción puede darse de dos tipos: álcali – Sílice (puede aminorarse con el uso de materiales cementantes complementarios) y álcali – carbonato (poco probable, puede controlarse con la mezcla de agregados.) Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004).

2.5.2.2.2 Carbonatación.

Se produce cuando el dióxido de carbono presente en el aire ingresa y reacciona con los hidróxidos presentes en el concreto, esto da origen a carbonatos que reducen la alcalinidad necesaria del concreto para que el acero embebido no sufra de corrosión. Esto se controla reduciendo la relación agua cemento y haciendo hincapié en el recubrimiento del acero (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004).

2.5.2.2.3 Ataque ácido.

El concreto realizado con cemento Portland al ser altamente alcalino, debido a la portlandita (Ca(OH)_2) producida en la hidratación de los silicatos, no es resistente a soluciones acidas fuertes o a compuestos que puedan

convertirse en estas posteriormente. Las sustancias con pH menor 6.5, 5.5 y 4.5 causarán ataques de tipo moderado, severo y muy severo respectivamente; concentraciones de CO₂ de 30 a 60 ppm y más de 60 ppm causarán ataques de tipo severo y muy severo respectivamente.

Son varias las soluciones ácidas, ya sean orgánicas o inorgánicas, las causantes de este tipo de ataques. Algunos eventos comunes relacionados es este tipo de ataque serían:

- La lluvia ácida que tiene como componentes principales el ácido sulfúrico y el ácido nítrico, responsable del deterioro superficial del concreto expuesto.
- Los compuestos de las aguas residuales domesticas a ciertas temperaturas y condiciones pueden producir ácido sulfúrico, responsable del deterioro de estructuras de concreto pertenecientes al drenaje.
- Aceites lubricantes y otros líquidos requeridos en aparatos hidráulicos, a ciertas temperaturas, son responsables del deterioro del concreto de vías y aeropuertos.

La utilización de cementos adicionados con escoria, puzolanas y humo sílice es idóneo para menguar el ingreso de sustancias agresivas (Neville 2013).

2.5.2.2.4 *Ataque de sulfatos*

Se produce debido a la reacción de sulfatos y componentes de la pasta hidratada de cemento presente en el concreto. El suelo y las aguas subterráneas son las principales fuentes de sulfatos que pueden afectar a construcciones convencionales de concreto. Se ha encontrado presencia de sulfatos como sulfato de sodio, potasio, magnesio y calcio.

El principal efecto que causa el ataque de sulfatos es la expansión del concreto, las reacciones químicas crean presiones capaces de quebrar la pasta de cemento causando, grietas, desintegración, pérdida de masa y pérdida de resistencia de forma progresiva, dejando al concreto vulnerable a que el agua agresiva penetre con mayor facilidad.

2.5.2.3 Deterioro producido por procesos biológicos.

Es causado debido a la aparición de microorganismos vivos o muertos que pueden afectar el comportamiento y las propiedades del concreto. (Rivva, 2006)

2.5.2.4 Deterioro producido por procesos mecánicos.

Se produce debido a una deformación lenta, la cual, tiene como resultado la aparición de fisuras y planos de falla; el mal uso de una estructura como la adición de sobrecargas no consideradas en el diseño, vibraciones excesivas u otros eventos fortuitos producen riesgo de falla o colapso. (Rivva, 2006)

2.6 Porosidad

Es el volumen de vacíos presentes en el concreto debido al aire atrapado accidentalmente y los generados por la evaporación del agua de mezcla. (Rivva, 2006)

2.6.1 Tipos de poros.

2.6.1.1 Poros de aire atrapado

Es el volumen de vacíos de aire atrapado de manera accidental, también conocidos como poros de compactación tienen un tamaño superior al de los poros capilares y poros gel. (Rivva, 2006)

2.6.1.2 Poros capilares

Es el volumen de vacíos que no fueron ocupados por los productos de hidratación del cemento. Este volumen va disminuyendo a medida que la hidratación avanza. Depende de la relación agua/cemento y el curado del concreto. Tienen un tamaño aproximado de $1.3 \mu\text{m}$ y una forma variable formando un sistema interconectado. Este tipo de poros son los principales responsables de la permeabilidad en el concreto endurecido. (Neville, 2013)

2.6.1.3 Poros gel

Son de menor tamaño que los poros capilares, menores de 2 o $3 \mu\text{m}$. A diferencia de los poros capilares, este volumen de vacíos no depende totalmente de la relación agua/cemento y no se ve afectado por el proceso de hidratación. (Neville, 2013)

2.6.2 Medición de porosidad.

Existen varios métodos que nos permiten calcular la porosidad del concreto sin embargo la normativa peruana solo considera el descrito en la NTP 339.187 (2018). En esta norma encontraremos el procedimiento y recomendaciones a tomar en cuenta para la obtención de este valor.

El procedimiento a seguir es sencillo; la norma no especifica un número mínimo de muestras, tamaño, forma, pero si un volumen mínimo de 350 cm^3 , de estas se deberá obtener un peso seco, saturado y sumergido. La porosidad en porcentaje será calculada con la siguiente fórmula.

$$P = \frac{\text{Masa saturada} - \text{Masa seca}}{\text{Masa saturada} - \text{Masa sumergida}} * 100 \quad (1)$$

2.7 Permeabilidad

La permeabilidad del concreto es la capacidad que tiene este material para permitir el paso de sustancias líquidas o gaseosas debido a una diferencia de presiones entre dos superficies. Según Mehta y Monteiro (1985) el agua contenida y absorbida por la pasta de cemento procederá a evaporarse dejando cavidades insaturadas o poros por los cuales transitará el fluido al cual está expuesto. La porosidad de otros materiales integrantes de la mezcla, como la de los agregados, pasarán a segundo plano, ya que una mezcla correctamente compactada contendrá agregado totalmente envuelto en pasta de cemento.

Neville (2013) afirma que la permeabilidad de la pasta de cemento se modifica dependiendo del proceso de hidratación, el gel formado por el cemento hidratado llenará de forma gradual el espacio del agua que pasará a evaporarse. Esto demuestra que un concreto de mayor edad tendrá una menor permeabilidad. La permeabilidad no solo dependerá de la cantidad de cavidades o poros, sino de la distribución, tamaño, forma y principalmente su continuidad.

Diferentes autores coinciden al asegurar que la permeabilidad del concreto depende principalmente de la relación agua/cemento, siendo directamente proporcionales. Otros factores que pueden afectar dicha propiedad será el tiempo de curado y tipo de cemento.

2.7.1.1 Factores determinantes en la permeabilidad del concreto.

2.7.1.1.1 Relación agua/material cementante (a/mc).

Se expresa como la división de la masa de agua entre la masa de material cementante. Se debe elegir el menor valor necesario para resistir las condiciones a las que estará expuesta la estructura de concreto a construirse, si la durabilidad

no es un factor que gobierna, la relación agua/material cementante dependerá de la resistencia a la compresión requerida. Si el único material cementante que lleva la mezcla es el cemento, la relación agua/ material cementante puede ser llamada también relación agua/cemento (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004).

Considerando su efecto en la permeabilidad Mehta y Monteiro (1985) comenta que mientras más baja sea la relación agua/material cementante, se tendrá un mayor grado de hidratación, por lo que la cantidad y tamaño de poros será reducido, esto permitirá la obtención de un concreto de baja permeabilidad.

2.7.1.1.2 Tipo de cemento.

La variedad de tipos de cemento y sus respectivas adiciones, generan distintos efectos que ayudan a mejorar la permeabilidad del concreto y con esto, su durabilidad. Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi (2004) manifiesta que un cemento con adición de escoria o puzolana influye de manera positiva en la permeabilidad del concreto, por lo cual son usados en estructuras con diferentes tipos de exposición.

2.7.1.1.3 Curado de concreto.

Neville (2013) describe al curado del concreto como el método o técnica que promueve la hidratación del cemento, teniendo como objetivo principal mantener saturado el concreto hasta que las cavidades causadas por el agua de mezcla evaporada sean colmadas por los productos de hidratación del cemento.

A medida que se desarrolla la hidratación del cemento, los poros se van reduciendo en cantidad, tamaño e irán perdiendo las interconexiones entre sí, de manera que la permeabilidad disminuye (Mehta y Monteiro, 1985).

2.7.1.1.4 Porosidad del concreto.

Los poros capilares encontrados en la masa de concreto endurecido, siempre y cuando estén interconectados, serán uno de los principales factores que gobiernen en la permeabilidad de un concreto. (Neville, 2013)

2.7.2 Ley de Darcy.

Matemáticamente la permeabilidad puede expresarse mediante la ley de Darcy indicada en la siguiente ecuación.

$$\frac{d_q}{d_t} = \frac{K(\Delta H A)}{L \mu} \quad (2)$$

En la que

d_q/d_t : Velocidad del fluido.

Δ : Gradiente de presión.

A: Área de superficie.

L: Espesor del sólido.

μ : Viscosidad del fluido (Mehta & Monteiro, 1985).

La cual es interpretada al decir que el caudal de agua que atraviesa una unidad de superficie de un sólido poroso es proporcional al gradiente de presión generado entre las dos caras del mismo.

2.7.3 Ensayos de permeabilidad

Los ensayos realizados al concreto con el fin de obtener su permeabilidad no se han normalizado en todos los países. Se encuentran una variedad de modalidades con las cuales puede calcularse este parámetro, entre ellas las más utilizadas son el ensayo de penetración al agua y el ensayo de penetración al aire y vapor.

2.7.3.1 Permeabilidad a líquidos.

Este ensayo propone aplicar agua a presión directamente a una probeta de concreto, luego se procederá a romper la probeta diametralmente para medir la profundidad que el agua ha penetrado.

Normas europeas como la DIN 1048-5 o la EN 12390 – 8 proponen aplicar una presión de 0.5 Mpa durante 72 horas para hallar únicamente una profundidad de penetración.

Estudios realizados por la norma ACI 212 (2010), afirman que se puede realizar una modificación a dichas normas, considerando una presión de 1Mpa y un tiempo de 96 horas para luego aplicar la ecuación de Valenta.

Valenta (1970) descubrió una expresión para convertir la profundidad de penetración a un coeficiente de permeabilidad (K) utilizando la ley de Darcy, donde se tiene la siguiente expresión.

$$K = \frac{e^2 v}{2ht} \quad (3)$$

En la cual:

K: Coeficiente de permeabilidad expresado en metros por segundo.

e: Profundidad de penetración de agua media en el concreto expresada en metros.

h: Carga hidráulica o presión aplicada por la máquina expresada en metros.

t: Tiempo de duración de la prueba expresada en segundos.

v: Fracción del volumen del concreto ocupada por los poros.

La última expresión representa los poros o cavidades que solo se llenan aplicando agua bajo presión y se calcula según la NTP 339.187 (2018).

2.7.3.2 Permeabilidad al aire

La permeabilidad al agua y al aire debería proporcionarnos resultados semejantes, no obstante, esto no es posible, Neville (2013) afirma que los datos de permeabilidad obtenidos mediante el ensayo de permeabilidad al aire son mayores debido a un fenómeno llamado escape de gas, dado que, en el límite de flujo, el gas adquiere una velocidad finita.

La permeabilidad al aire depende de manera sustancial del curado del concreto y su contenido de humedad.

No existe algún método aceptado por alguna normativa, no obstante, existe una variedad de métodos aplicables.

El método más conocido y aceptado es el desarrollado por Roberto Torrent y Luis Ebensperger llamado “Medición “in situ” de la permeabilidad al aire del hormigón estatus quo”.

CAPÍTULO III.

3 Metodología

3.1 Análisis de normativa de durabilidad

Las normativas de diversos países presentan recomendaciones para el diseño y la elaboración de estructuras de concreto que cumplan con las necesidades para las que fueron proyectadas. Uno de los temas a tratar en dichas normativas es la durabilidad del concreto, acápite en el cual se brindan parámetros como máxima relación agua/cemento, tipo de cemento, resistencia a la compresión mínima, entre otros que contribuyan a que las estructuras no se vean afectadas por distintos agentes que amenazan su funcionalidad tales como:

- Bajas temperaturas (exposición de congelamiento y deshielo).
- Exposición a sulfatos.
- Contacto con el agua.
- Riesgo de corrosión.
- Agresividad ambiental y/o general.

3.1.1 Cuadro comparativo entre normativas.

Este acápite tiene como objetivo analizar los requisitos de durabilidad encontrados en las normas de distintos países, para lo cual se elaboró un cuadro comparativo de la normativa vigente de Perú, Estados Unidos, Argentina, Colombia y Chile.

Las casillas que presenten un sombreado de la misma tonalidad, tendrán información similar o igual.

3.1.1.1 Clasificación y nomenclatura.

Tabla 2

Clasificación y nomenclatura - Exposición a congelamiento y deshielo.

Aspecto\País	Perú		EEUU		Argentina		Colombia			Chile	
	E.060		ACI 318-14		CIRSOC 201		NSR – 10			NCh 170 - 2016	
Exposición a congelamiento y deshielo.	Severa	Cuando, en un clima frío, el concreto puede estar en contacto casi constante con la humedad antes de congelarse o cuando se emplean sales descongelantes.	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo.	C1	Sin descongelantes. sales por y ataque congelación deshielo.	No es aplicable	F1	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo	F0	Hormigón no expuesto a congelación y deshielo
		Cuando, en clima frío, el concreto esté expuesto ocasionalmente a humedad antes de congelarse y cuando no se usen sales descongelantes.		F1		Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad.			F1		Hormigón expuesto a congelación y deshielo y ocasionalmente expuesto a humedad
	Especiales	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto frecuente con la humedad.	C2	Con descongelantes. sales por y ataque congelación y deshielo y por sales descongelantes.	Severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad.	F2	Hormigón expuesto a congelación y deshielo y en contacto continuo con humedad
		Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto frecuente con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes.		Muy severa			F4	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes.	F3

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Las cinco normativas presentan una clasificación similar en cuanto a concreto expuesto a congelamiento y deshielo.

Tabla 3:

Clasificación y nomenclatura - Exposición a sulfatos.

Aspecto\País	Perú			EEUU			Argentina		Colombia			Chile		
	E.060			ACI 318-14			CIRSOC 201		NSR – 10			NCh 170 - 2016		
Exposición a sulfatos.	* Sulfato soluble en agua (SO4) presente en el suelo, porcentaje en peso.	Insignificante	$0,0 \leq \text{SO}_4 < 0,1$.	* Sulfatos solubles en agua (SO4) en el suelo, % en masa.	S0	$\text{SO}_4 < 0,10$.	* Sulfatos solubles (SO4) en aguas de contacto. mg/litro.		Sulfato soluble en agua (SO4) en agua, % en peso.	No aplicable	$\text{SO}_4 < 0,1$.	S0	No agresivo	$\text{SO}_4 < 0,1$.
		Moderada	$0,1 \leq \text{SO}_4 < 0,2$.		S1	$0,10 \leq \text{SO}_4 < 0,20$.	Moderado (Q1)	150 a 1500.		Moderada	$0,1 \leq \text{SO}_4 < 0,2$ o agua de mar.	S1	Moderada.	$0,1 \leq \text{SO}_4 < 0,2$ o agua de mar.
		Severa	$0,2 \leq \text{SO}_4 < 2,0$.		S2	$0,20 \leq \text{SO}_4 < 2,00$.	Fuerte (Q2)	1500 a 10000.		Severa	$0,2 \leq \text{SO}_4 < 2,0$.	S2	Severa	$0,2 \leq \text{SO}_4 < 2,0$.
		Muy severa	$2,0 < \text{SO}_4$.		S3	$\text{SO}_4 > 2,00$.	Muy fuerte (Q3)	Mayor a 10000.		Muy severa	$\text{SO}_4 > 2,00$.	S3	Muy severa	$\text{SO}_4 > 2,00$.
	* Sulfato (SO4) en el agua, ppm.	Insignificante	$0 \leq \text{SO}_4 < 150$.	* Sulfato (SO4) disuelto en agua, ppm.	S0	$\text{SO}_4 < 150$.	* Sulfatos solubles (SO4) en suelos de contacto. % en masa.		Sulfato (SO4) disuelto en el agua, ppm.	No aplicable	$0 \leq \text{SO}_4 < 150$.	S0	No agresivo	$0 \leq \text{SO}_4 < 150$.
		Moderada	$150 \leq \text{SO}_4 < 1500$ o agua marina.		S1	$150 \leq \text{SO}_4 < 1500$ o agua marina.	Moderado (Q1)	0,10 a 0,20.		Moderada	$150 \leq \text{SO}_4 < 1500$ o agua de mar.	S1	Moderada.	$150 \leq \text{SO}_4 < 1500$ o agua de mar.
		Severa	$1500 \leq \text{SO}_4 < 10000$.		S2	$1500 \leq \text{SO}_4 < 10000$.	Fuerte (Q2)	0,20 a 2.		Severa	$1500 \leq \text{SO}_4 < 10000$.	S2	Severa	$1500 \leq \text{SO}_4 < 10000$.
		Muy severa	$10000 < \text{SO}_4$.		S3	$\text{SO}_4 > 10000$.	Muy fuerte (Q3)	Mayor a 2.		Muy severa	$\text{SO}_4 > 10000$.	S3	Muy severa	$\text{SO}_4 > 10000$.

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Las cinco normas presentan la misma clasificación en cuanto a concreto expuesto a sulfatos.

Tabla 4:

Clasificación y nomenclatura - Exposición al agua y riesgo de corrosión.

Aspecto\País	Perú	EEUU		Argentina			Colombia			Chile		
	E.060	ACI 318-14		CIRSOC 201			NSR – 10			NCh 170 - 2016		
En contacto con el agua.	Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	W0	Concreto seco en servicio o concreto en contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad.				No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad	P0	Hormigón en ambiente seco o en contacto con agua pero que no requiere baja permeabilidad.	
			W1								En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad.	Requerida
		P2					Hormigón en contacto con agua que requiere baja permeabilidad y existe posibilidad de ataque químico no considerado en subcláusulas anteriores					
Riesgo de corrosión.	-	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad.	* Corrosión por carbonatación.	A2	Ambiente normal. Interiores de edificios expuestos al aire con HR ≥ 65 % o a condensaciones; exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual < 1000 mm.; elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos.	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad	C0	No agresivo	Hormigón seco o protegido de la humedad ambiental
		C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros.		A3	Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥ 1000 mm; temperatura media mensual durante más de 3 meses al año ≥ 25° C.						

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Perú, Estados Unidos, Colombia y Chile presentan una clasificación similar en cuanto a concreto en contacto con el agua, Chile presenta una clasificación más detallada mientras que Perú solo considera un caso. Argentina no toma en cuenta este factor.

Tabla 5:

Clasificación y nomenclatura – Riesgo de corrosión.

Aspecto\País	Perú	EEUU		Argentina		Colombia			Chile						
	E.060	ACI 318-14		CIRSOC 201		NSR – 10			NCh 170 - 2016						
Riesgo de corrosión.	-	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen.	* Corrosión por cloruros.	CL	Húmedo o sumergido, con cloruros de origen diferente del medio marino. Hormigón expuesto al rociado o la fluctuación del nivel de agua con cloruros; expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales.	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen	C2-A	Moderado	Hormigón sumergido completamente en agua que contiene cloruro			
					M1	Marino, al aire. A más de 1 km. de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales.				C2-B	Severo	Hormigón húmedo expuesto a aire salino			
				* Corrosión por cloruros.	M2	Marino, al aire. A menos de 1 km. de la línea de marea alta y contacto permanente. o frecuente con aire saturado con sales.							C2-C	Muy severo	Hormigón expuesto a ciclos de humedad y una fuente externa de cloruro proveniente de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen.
						Sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas.									
					M3	Marino, sumergido. En la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar.									

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Estados Unidos, Argentina, Colombia y Chile presentan una clasificación similar en cuanto a concreto que presente riesgo de corrosión, siendo las normas argentina y chilena las más detalladas. Perú no toma en cuenta este factor.

Tabla 6:

Clasificación y nomenclatura – Agresividad ambiental y/o general.

Aspecto\País	Perú	EEUU	Argentina		Colombia	Chile
	E.060	ACI 318-14	CIRSOC 201		NSR – 10	NCh 170 - 2016
Agresividad ambiental y/o General.	-	-	A1	No agresiva. Interiores de edificios no sometidos a condensaciones; elementos exteriores de edificios, revestidos; hormigón masivo interior; estructuras en ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual < 250 mm.	-	-
			Q1	Ambientes con agresividad química moderada. Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad.		
			Q2	Ambientes con agresividad química fuerte. Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media; exposición al agua de mar.		
			Q3	Ambientes con agresividad química muy fuerte. Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida.		

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Argentina es el único país que considera la agresividad ambiental y/o general.

3.1.1.1 Exposición a congelamiento y deshielo.

Tabla 7:

Exposición a congelamiento y deshielo – Disposiciones generales, relación máxima a/mc.

Aspecto\País	Perú		EEUU		Argentina			Colombia		Chile	
	E.060		ACI 318-14		CIRSOC 201			NSR – 10		NCh 170 - 2016	
Disposiciones generales.	Los concretos de peso normal y los de pesos livianos expuestos a condiciones de congelamiento y deshielo o a productos químicos descongelantes deben tener aire incorporado, con el contenido total de aire indicado en la tabla ubicada en la parte posterior. La tolerancia en el contenido total de aire incorporado debe ser de $\pm 1,5\%$. Para concretos con $f'c$ mayor de 35 MPa, se puede reducir el aire incorporado indicado en la tabla antes mencionada en 1%.		El concreto de peso normal y liviano expuesto a congelamiento y deshielo clasificado en las Clases de Exposición F1, F2 o F3 debe tener aire incorporado. El concreto debe muestrearse de acuerdo con ASTM C172, y el contenido de aire debe medirse de acuerdo con ASTM C231 o ASTM C173. Para valores de $f'c$ que excedan 5000 lb. /pulg.2, se permite la reducción del contenido de aire en 1.0 punto de porcentaje indicado en la tabla ubicada posteriormente. El máximo porcentaje de puzolanas, incluida la ceniza volante, humo de sílice y cemento de escoria en concreto asignado a Exposición Clase F3, debe estar de acuerdo con los valores mostrados posteriormente.		Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida mostrada en la tabla ubicada en la parte posterior. Para hormigones de clase igual o mayor que H-35 ($f'c=35$ MPa) las cantidades de aire indicadas en la tabla anteriormente mencionada, se pueden reducir hasta una unidad porcentual (1,0 %), salvo que en los Documentos de Proyecto se indique lo contrario.			El concreto de peso normal y de peso liviano expuesto a condiciones F1, F2 y F3 debe tener aire incorporado, con el contenido de aire indicado en la tabla posterior. La tolerancia en el contenido de aire incorporado debe ser de $\pm 1,5\%$. Para un $f'c > 35$ MPa, se puede reducir el aire incorporado indicado en la tabla anteriormente mencionada en 1 por ciento. La cantidad de puzolanas, incluida la ceniza volante, humo sílice y escoria en el concreto para exposición clase F3 no debe exceder los límites establecidos en las siguientes tablas.		Cuando el hormigón va a estar sometido a la acción de ciclos de congelación y deshielo, la resistencia mínima especificada y el contenido total de aire deben cumplir con lo indicado en la tabla mostrada posteriormente de acuerdo al grado de exposición. La tolerancia de contenido de aire es de $\pm 1.5\%$. Para hormigones de grado superior a G35, el contenido total de aire indicado en la tabla de la parte inferior se puede reducir en un punto porcentual. Independiente del grado de exposición, se puede utilizar hormigones con resistencias y contenidos de aire distintos a los prescritos, si se demuestra mediante ensayos de comportamiento del hormigón que la expansión máxima obtenida no es mayor que 0.05%. Este ensayo se realiza según NCh2185, sobre probetas que tengan 28 días de edad.	
Relación máxima a/mc.	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	0.45.	F0	-	Tipo de hormigón\Cond. de exposición	C1	C2	F0	N/A		
			F1	0.55.	Hormigón simple	0.45.	0.40.	F1	0.45		
	Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	0.40.	F2	0.45.	Hormigón armado	0.45.	0.40.	F2	0.45		
			F3	0.40.	Hormigón pretensado	0.45	0.40.	F3	0.45		

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: En las disposiciones generales, todos los países contienen recomendaciones de aire incorporado.

En cuanto a relación máxima agua/material cementante, Chile no presenta parámetros, los demás países contienen valores similares y en la mayoría de casos iguales.

Tabla 8:

Exposición a congelamiento y deshielo – $F'c$ mínimo, contenido total de aire (%).

Exposición a congelamiento y deshielo – Fc mínimo, contenidos totales de aire (%)															
Aspecto\ País	Perú			EEUU		Argentina			Colombia			Chile			
	E.060			ACI 318-14		CIRSOC 201			NSR – 10			NCh 170 - 2016			
fc mínimo.	* En MPA			* En lb/pulg2		* En MPa			* En MPa			* En MPa			
	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo en condición húmeda o a productos químicos descongelantes.	31	F0	2500	Tipo de hormigón/Cond. de exposición	C1	C2	F0	17	F0	Sin restricción				
			F1	3500	Hormigón simple	30	35	F1	31	F1	30				
	Para proteger de la corrosión el refuerzo de acero cuando el concreto está expuesto a cloruros provenientes de productos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o a salpicaduras del mismo origen.	35	F2	4500	Hormigón armado	30	35	F2	31	F2	30				
			F3	5000	Hormigón pretensado	30	35	F3	31	F3	35				
Contenido total de aire (%).	TMN (mm)	Contenido de aire		TMN (pulg.)	Contenido de aire		TMN	Total de aire natural e intencionalmente incorporado al hormigón, de acuerdo con el tipo de exposición o para hormigones especiales	TMN (mm)	Contenido de aire		TMN (mm)	Contenido de aire		
		Exposición severa	Exposición moderada		F1	F2 y F3				Exposición clase F1	Exposición clases F2 y F3		F1	F2 y F3	
	9.5	7.5	6	3/8	6	7.5		Exposición tipo C1 y hormigón a colocar bajo agua	Exposición tipo C2	9.5	6	7.5	10	6	7.5
	12.5	7	5.5	½	5.5	7	mm	% en volumen	% en volumen	12.5	5.5	7			
	19	6	5	¾	5	6	13.2	5.5±1.5	7±1.5	19	5	6	20	5	6
	25	6	4.5	1	4.5	6	19	5±1.5	6±1.5	25	4.5	6			
	37.5	5.5	4.5	1 ½	4.5	5.5	26.5	4.5±1.5	6±1.5	37.5	4.5	5.5			
	50	5	4	2	4	5	37.5	4.5±1.5	5.5±1.5	50	4	5	40	4.5	5.5
	75	4.5	3.5	3	3.5	4.5	53	4.0±1.5	5±1.5	75	3.5	4.5			

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: En cuanto a resistencia a la compresión mínima, se puede decir que todos los países contemplan los mismos valores con diferentes unidades.

El contenido total de aire dependerá del tamaño máximo nominal, los valores considerado por todos los países son los mismos, la diferencia está en que la norma chilena considera solo tres valores de tamaño máximo nominal y la argentina nos brinda un rango de valores.

Tabla 9:

Exposición a congelamiento y deshielo – Requisitos para concreto expuesto a productos químicos descongelantes, penetración de agua o succión capilar.

Aspecto\País	Perú		EEUU		Argentina			Colombia		Chile	
	E.060		ACI 318-14		CIRSOC 201			NSR – 10		NCh 170 - 2016	
Requisitos para concreto expuesto a productos químicos descongelantes.	Materiales cementantes	% máximo del total de materiales cementantes en peso	Materiales cementantes	% máximo del total de materiales cementantes en masa				Materiales cementantes	Porcentaje máximo del total de materiales cementantes en peso	-	
	Cenizas volantes u otras puzolanas que cumplen la NTP 334.104.	25	Cenizas volantes u otras puzolanas que cumplen con ASTM C618.	25				Cenizas volantes u otras puzolanas que cumplen con NTC 3493 (ASTM C618).	25		
	Escoria que cumple ASTM C 989.	50	Cemento de escoria que cumple con ASTM C989.	50				Escoria que cumple con NTC 4018 (ASTM C989).	50		
	Microsílice que cumple la NTP 334.087.	10	Humo de sílice que cumple con ASTM C1240.	10				Humo de sílice que cumple con (NTC 4637) ASTM C1240.	10		
	Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escoria y microsílice.	50	Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escoria y humo de sílice.	35				Total de cenizas volantes u otras puzolanas, escoria y humo de sílice.	50		
	Total de cenizas volantes u otras puzolanas y microsílice.	35	Total de cenizas volantes u otras puzolanas y humo de sílice.	50				Total de cenizas volantes u otras puzolanas y humo de sílice.	35		
	Penetración de agua o succión capilar.	-		-				Propiedad\Condición de exposición			
Penetración de agua (mm)						máx.	≤ 50	≤ 50			
						Media	≤ 30	≤ 30			
Succión capilar (g/m ² /s ^{0.5})						4	4				

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Solo Perú, Estados Unidos y Colombia presentan requisitos para concretos expuestos a productos descongelantes. Todos presentan los mismos valores a excepción de las dos últimas recomendaciones en las que Estados Unidos considera valores distintos.

Argentina es el único país que considera parámetros de profundidad de penetración de agua o succión capilar en concreto expuesto a hielo y deshielo.

3.1.1.1 Exposición a sulfatos.

Tabla 10:
Exposición a sulfatos – Disposiciones generales.

Aspecto\País	Perú	EEUU	Argentina	Colombia	Chile
	E.060	ACI 318-14	CIRSOC 201	NSR – 10	NCh 170 - 2016
Disposiciones generales.	El concreto que va a estar expuesto a sulfatos debe cumplir con los requisitos ubicados en la parte inferior. El concreto debe estar hecho con un cemento que proporcione resistencia a los sulfatos y que tenga una relación agua-material cementante máxima y un $f'c$ mínimo según los requisitos antes mencionados. Además de la selección apropiada del cemento, son esenciales otros requisitos para lograr concretos durables expuestos a concentraciones de sulfatos, tales como: baja relación agua - material cementante, resistencia, adecuado contenido de aire, bajo asentamiento, adecuada compactación, uniformidad, recubrimiento adecuado del refuerzo y suficiente curado húmedo para desarrollar las propiedades potenciales del concreto.			Se pueden permitir combinaciones alternativas de materiales cementantes diferentes a los mencionados en la mostrada en la parte posterior siempre que sean ensayados para comprobar la resistencia a los sulfatos y deben cumplirse los criterios de la tabla de expansión máxima según el tipo de exposición. Para exposición al agua marina, se permiten otros tipos de cemento pórtland con contenidos de hasta 10 por ciento de aluminato tricálcico (C3A) si la relación a/mc no excede 0.40. Se permiten otros tipos de cemento como el tipo III o tipo I en exposiciones clase S1 o S2 si el contenido de C3A es menor al 8 o 5 por ciento, respectivamente. La cantidad de la fuente específica de puzolana o escoria que se debe usar no debe ser inferior a la cantidad que haya sido determinada por experiencia en mejorar la resistencia a sulfatos cuando se usa en concretos que contienen cemento tipo V. De manera alternativa, la cantidad de la fuente específica de puzolana o escoria que se debe usar no debe ser menor a la cantidad ensayada según la NTC 3330 (ASTM C1012) y debe cumplir con los requisitos de la tabla de expansión máxima según el tipo de exposición. El contenido de iones cloruro solubles en agua provenientes de los ingredientes incluyendo el agua, agregados, materiales cementantes y aditivos de la mezcla de concreto, deben ser determinados según los requisitos de la NTC 4049 (ASTM C1218M), a edades que van de 28 a 42 días. Para concreto liviano aplican los límites máximos de la relación a/mc.	En condiciones de exposición a la acción de sulfatos presentes en el agua o en el suelo, que se encuentra en contacto con el hormigón, se pueden adoptar medidas para aislar y proteger el hormigón de la acción de estos agentes, lo que se debe considerar para determinar el grado de exposición indicadas en las tablas mostradas a continuación. El cemento utilizado debe cumplir con al menos uno de los dos requisitos indicados según el grado de exposición. En caso que el cemento no cumpla el requisito de expansión a 6 meses, se puede utilizar siempre que la expansión no sea mayor que 0.1% a un año. Para cada valor de grado de exposición, el hormigón debe cumplir con el requisito de resistencia mínima especificada y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración al agua, lo que debe quedar establecido en la especificación técnica del proyecto.

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: La norma colombiana y chilena nos brindan algunas recomendaciones a tomar en cuenta. La norma peruana nos comenta que el concreto debe cumplir con las tablas propuestas posteriormente y las normas estadounidense y argentina no presentan información en este acápite.

Tabla 11:

Exposición a sulfatos – Tipo de cemento a usar.

Exposición a sulfatos Tipo de cemento a usar												
Aspecto\País	Perú		EEUU			Argentina		Colombia				Chile
	E.060		ACI 318-14			CIRSOC 201		NSR – 10				NCh 170 - 2016
Tipo de cemento a usar.	Insignificante	-	S0	-			Moderada (Q1)	Cemento moderadamente resistente a los sulfatos, cemento Portland normal CPN más una adición mineral activa incorporada en obra, cemento de uso general (IRAM 50000:2000-Tabla 1).	Clase de exposición	ASTM C150	ASTM C595	ASTM C1157
	Moderada	II, IP(MS), IS(MS), P(MS), I(PM)(MS), I(SM)(MS)	S1	AST M C150	ASTM C595	ASTM C1157	Fuerte (Q2)	Cemento altamente resistente a los sulfatos (IRAM 50001:2000 - Tabla 3), cemento portland normal (CPN) más una adición mineral activa incorporada en obra.	S0	Sin restricción en tipo	Sin restricción en tipo	Sin restricción en tipo
				II	IP, IS, o IT(MS)	MS			S1	II	IP(MS), IS(<70)(MS)	MS
	Severa	V	S2	V	IP, IS o IT(HS)	HS	Muy fuerte (Q3)	Cemento con adiciones altamente resistente a los sulfatos (IRAM 50001:2000-Tabla 3). El contenido de cemento del hormigón será igual o mayor que 380 kg/m³, cemento sin adiciones altamente resistente a los sulfatos (CPN-ARS-IRAM 50001:2000-Tabla 3) utilizado conjuntamente con una adición mineral activa agregada en obra. La adición debe mejorar la resistencia a los sulfatos del cemento. El contenido de material cementicio del hormigón será igual o mayor que 380 kg/m³, Cemento altamente resistente a los sulfatos (CPN ARS-IRAM 50001:2000- Tabla 3) y una protección exterior capaz de resistir la agresión. El contenido de cemento del hormigón será igual o mayor que 350 kg/m³.	S2	V	IP(HS), IS(<70)(HS)	HS
	Muy severa	Tipo V más puzolana	S3	V más puzolanas o cement o de escoria	IP, IS o IT(HS) más puzolanas o escoria.	HS más puzolanas o escoria.			S3	V más puzolana o escoria	IP(HS) más puzolanas o escoria o IS(<70)(HS) más puzolanas o escoria.	HS más puzolana o escoria

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Todos los países a excepción de Chile presentan requerimientos en cuanto a cemento a utilizar similares. Chile no presenta datos en esta sección.

Tabla 12:

Exposición a sulfatos – Relación máxima a/mc, $f'c$ mínimo, aditivo cloruro de calcio, penetración de agua o succión capilar.

Aspecto\País	Perú		EEUU		Argentina				Colombia		Chile			
	E.060		ACI 318-14		CIRSOC 201				NSR - 10		NCh 170 - 2016			
Relación máxima a/mc.	Insignificante	-	S0	-	Tipo de hormigón\Cond. de exposición	Moderada	Fuerte (Q2)	Muy fuerte (Q3)	S0	-				
	Moderada	0.5	S1	0.5	Hormigón simple	(Q1)	0.5	0.45	0.4	S1			0.5	
	Severa	0.45	S2	0.45	Hormigón armado	0.5	0.45	0.4	S2	0.45				
	Muy severa	0.45	S3	0.45	Hormigón pretensado	0.5	0.45	0.4	S3	0.45				
f'c mínimo.	* En MPa		* En lb/pulg2		* En MPa				* En MPa		* En MPa			
	Insignificante	-	S0	2500	Tipo de hormigón\Cond. de exposición	Moderada	Fuerte (Q2)	Muy fuerte (Q3)	S0	17	S0	17		
	Moderada	28	S1	3500	Hormigón simple	(Q1)	30	35	40	S1	28	S1	35	
	Severa	31	S2	4500	Hormigón armado	30	35	40	S2	31	S2	30		
	Muy severa	31	S3	5000	Hormigón pretensado	35	40	45	S3	31	S3	35		
Aditivo cloruro de calcio.	Insignificante	-	S0	Sin restricción	-				Insignificante	-				
	Moderada	-	S1	Sin restricción					Moderada	-				
	Severa	No se permite	S2	No se permite					Severa	No se permite				
	Muy severa	No se permite	S3	No se permite					Muy severa	No se permite				
Penetración de agua o succión capilar.	-		-		Propiedad\Condición de exposición		Modera da	Fuerte (Q2)	Muy fuerte (Q3)	-		Profundidad de penetración (mm)		
					Penetración de agua (mm)		(Q1)	≤ 50	≤ 50			≤ 50	S0	-
							media						≤ 30	≤ 30
					Succión capilar (g/m²/s ^{0.5})		4	4	4			S2	≤ 30	

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: En cuanto a relación máxima agua/material cementante, Perú, Estados Unidos y Colombia presentan los mismos datos, Argentina contiene requerimientos más conservadores para exposiciones muy fuertes. Chile no presenta datos en esta sección.

En las consideraciones de resistencia a la compresión mínima, Perú y Colombia tienen los valores menos conservadores, Estados Unidos y Chile solicitan resistencias más altas a comparación de Perú y Colombia. Argentina presentan los datos más conservadores considerando diversos tipos de concreto.

Para la consideración del uso de aditivo cloruro de calcio, solo Perú, Estados Unidos y Colombia presentan restricciones.

Tabla 13:

Exposición a sulfatos – Combinación de materiales cementantes, dosis mínima de cemento, porcentaje de expansión según ASTM C 1012, contenido de C₃A en el cemento (%).

Aspecto\País	Perú	EEUU	Argentina	Colombia			Chile		
	E.060	ACI 318-14	CIRSOC 201	NSR – 10			NCh 170 - 2016		
Combinación de materiales cementantes	-	-	-	Clase de exposición	Expansión máxima al ser ensayada usando NTC 3330 (ASTM C1012)			-	
					A 6 meses	A 12 meses	A 18 meses		
				S1	0.10 por ciento	-	-		
				S2	0.10 por ciento	0.10 por ciento	-		
				S3	-	-	0.10 por ciento		
Dosis mínima de cemento							S0	-	
							S1	320	
							S2	340	
							S3	360	
Porcentaje de expansión, según ASTM C 1012							S0	Sin restricción	
							S1	0.1 a 6 meses	
							S2	0.05 a 6 meses	
							S3	0.05 a 6 meses	
Contenido de C ₃ A en el cemento %.							S0	-	
							S1	≤ 8	
							S2	≤ 6	
							S3	≤ 5	

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Colombia es el único país que presenta parámetros sobre combinaciones de materiales cementantes.

Chile es el único país que presenta parámetros sobre dosis mínima de cemento, porcentaje de expansión y contenido de C₃A en el cemento.

3.1.1.2 Contacto con el agua.

Tabla 14:

Contacto con el agua – Disposiciones generales, relación máxima a/mc, f'c mínimo, profundidad de penetración de agua.

Aspecto\País	Perú		EEUU		Argentina	Colombia		Chile	
	E.060		ACI 318-14		CIRSOC 201	NSR – 10		NCh 170 - 2016	
Disposiciones generales.	-		-		-	-		Las estructuras de hormigón en que se requiera que el hormigón tenga baja permeabilidad se debe verificar en probetas moldeadas para tal efecto, que se cumplen los requisitos indicados en la tabla mostrada posteriormente.	
Relación máxima a/mc.	Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	0.5	W0	-	-	P0	N/A	-	
			W1	0.5		P1	0.5		
f'c mínimo.	* En MPa		* En lb/pulg2		-	* En MPa		-	
			W0	2500		P0	17		
	Concreto que se pretende tenga baja permeabilidad en exposición al agua.	28	W1	4000		P1	28		
Profundidad de penetración del agua.	-		-		-	-		Profundidad de penetración (mm)	
								P0	sin restricción
								P1	≤ 40
								P2	≤ 20

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Chile es el único país que presenta disposiciones generales y parámetros de profundidad de penetración del agua sobre concretos en contacto con el agua.

Perú, Estados Unidos y Colombia presentan los mismos requisitos en cuando a relación máxima agua/cemento y resistencia mínima a la compresión.

3.1.1.3 Agresividad ambiental y/o general.

Tabla 15:

Agresividad ambiental y/o general – Disposiciones generales, relación máxima a/mc, f'c mínimo, profundidad de penetración de agua o succión capilar.

Aspecto\País	Perú	EEUU	Argentina			Colombia	Chile
	E.060	ACI 318-14	CIRSOC 201			NSR – 10	NCh 170 - 2016
Disposiciones generales.	-	-	-			-	-
Relación máxima a/mc.	-	-	Tipo de hormigón\Cond. de exposición	A2	A3	-	-
			Hormigón simple	-	-		
			Hormigón armado	0.5	0.5		
			Hormigón pretensado	0.5	0.5		
f'c mínimo.	-	-	* En MPa			-	-
			Tipo de hormigón\Cond. de exposición	A2	A3		
			Hormigón simple	-	-		
			Hormigón armado	25	30		
			Hormigón pretensado	30	35		
Penetración de agua o succión capilar.	-	-	Propiedad/Condición de exposición	A2	A3	-	-
			Penetración de agua (mm)	máx.	≤ 50	≤ 50	
				media	≤ 30	≤ 30	
			Succión capilar (g/m ² /s ^{0.5})	4	4		

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Argentina es el único país que considera este tipo de agente agresivo, para el cual nos brinda parámetros de relación máxima agua/material cementante, resistencia a la compresión mínima y profundidad de penetración de agua o succión capilar.

3.1.1.4 Riesgo de corrosión.

Tabla 16:
Riesgo de corrosión – Disposiciones generales.

Aspecto\País	Perú	EEUU	Argentina	Colombia	Chile
	E.060	ACI 318-14	CIRSOC 201	NSR - 10	NCh 170 - 2016
Disposiciones generales.	Para la protección contra la corrosión del refuerzo de acero en el concreto, las concentraciones máximas de iones cloruro solubles en agua en el concreto endurecido a edades que van de 28 a 42 días, provenientes de los ingredientes (incluyendo agua, agregados, materiales cementantes y aditivos) no deben exceder los límites de la tabla de la parte posterior. Cuando se lleven a cabo ensayos para determinar el contenido de iones cloruro solubles en agua, los procedimientos de ensayo deben cumplir los requisitos establecidos en la NTP 334.148.	Los límites de iones cloruro deben ser aplicados a la Clases de Exposición C0, C1 y C2. Para el concreto no preesforzado, la cantidad máxima de iones cloruro solubles en agua, incorporados al concreto, y medidos según la ASTM C1218 a edades que van de 28 a 42 días, dependen del grado de exposición proveniente de la fuente externa de humedad y cloruros. Para el concreto preesforzado, se aplica el mismo límite de 0.06 por ciento de iones cloruro por peso de cemento independientemente de la exposición.	Los contenidos máximos de cloruros solubles en agua en el hormigón endurecido, aportados por todos los materiales componentes, incluyendo los aditivos y eventualmente adiciones minerales, deben ser iguales o menores que los límites fijados más abajo. Asimismo, el hormigón debe cumplir con los requisitos de a/c, f'c y penetración o succión capilar indicados más abajo. El contenido de cloruros en el hormigón endurecido se debe determinar a una edad comprendida entre 28 y 45 días, utilizando el método de la norma IRAM 1857. En los estudios preliminares de los materiales se puede estimar el contenido total de cloruros que tendrá el hormigón endurecido, como sumatoria del aporte de sus materiales componentes en el hormigón fresco. Si los valores estimados son menores que los límites indicados anteriormente, se puede considerar que el contenido de cloruros del hormigón endurecido, incorporados por los materiales constituyentes, será menor que el exigido por este Reglamento.	-	Cuando se adopten medidas especiales de protección del hormigón tales como la utilización de materiales de protección de las armaduras, la utilización de refuerzos resistentes a la corrosión, la utilización de ánodos de sacrificio (protección catódica), o cualquier otra medida protectora del hormigón o de las armaduras, estas medidas se deben considerar al asignar el grado de exposición. Para cada grado de exposición, el hormigón debe cumplir con el requisito de resistencia mínima especificada y con uno de los requisitos siguientes: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua, lo que debe quedar establecido en la especificación técnica del proyecto. Para los grados de exposición C1, C2-A, C2-B y C2-C se debe cumplir con el mínimo grado de resistencia especificada y con uno de los siguientes requisitos: dosis mínima de cemento o profundidad de penetración de agua. El proyectista estructural puede disminuir 5MPa el mínimo grado de resistencia indicado en esta tabla cuando se haya especificado la profundidad de penetración de agua en lugar de la dosis mínima de cemento. En todo caso el mínimo grado de resistencia debe ser mayor igual a 17 MPa.

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Perú, Estados Unidos y Argentina nos brindan recomendaciones generales, mientras que Chile nos da recomendaciones más específicas.

Tabla 17:

Riesgo de corrosión – Contenido máximo de iones cloruro.

Aspecto\País	Perú		EEUU			Argentina			Colombia			Chile
	E.060		ACI 318-14			CIRSOC 201			NSR – 10			NCh 170 - 2016
Contenido máx. de iones cloruro.	Tipo de elemento	Contenido máximo de iones de cloruro	Contenido máximo de iones de cloruro soluble en agua en el concreto, % por peso de cemento			Hormigón	Condición de exposición en servicio	Contenidos máximos de ion cloruro en el hormigón endurecido (IRAM 1857)	Contenido máximo de iones de cloruro (Cl ⁻) soluble en agua en el concreto, porcentaje por peso de cemento			-
		solubles en agua en el concreto (% en peso del cemento)						% en masa del cemento				
	Concreto presforzado	0.06	Condiciones. de exposición/Tipo de concreto	Concreto no presforzado	Concreto presforzado	Sin armar	Cualquier condición	1.2	C0	1	0.6	
	Concreto armado que en servicio estará expuesto a cloruros	0.15	C0	1	0.06	Armado, con curado normal	Medio ambiente con cloruros	0.15	C1	0.3	0.6	
							Medio ambiente sin cloruros	0.3	C2	0.15	0.6	
	Concreto armado que en servicio estará seco o protegido contra la humedad	1	C1	0.3	0.06	Armado, con curado a vapor	Cualquier condición	0.1	-			-
	Otras construcciones de concreto armado	0.3	C2	0.15	0.06	Pretensado	Cualquier condición	0.06				

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Todos los países a excepción de Chile presentan las mismas recomendaciones en cuanto a contenido de iones cloruro. Chile no presenta datos en esta sección.

Tabla 18:

Riesgo de corrosión – Relación máxima a/mc, f'c mínimo, penetración de agua o succión capilar, dosis mínima de cemento.

Aspecto\País	Perú	EEUU	Argentina				Colombia		Chile			
	E.060	ACI 318-14	CIRSOC 201				NSR – 10		NCh 170 - 2016			
Relación máxima a/mc.	-	-	Tipo de hormigón\Cond. de exposición	CL	M1	M2	M3	C0	N/A			
			Hormigón simple	0.45	-	0.45	0.45					
			Hormigón armado	0.45	0.5	0.45	0.4	C1	0.5			
			Hormigón pretensado	0.45	0.5	0.45	0.4				C2	0.4
f'c mínimo.	-	-	* En MPa				* En MPa		* En MPa			
			Tipo de hormigón\Cond. de exposición	CL	M1	M2	M3	C0	17		C0	17
			Hormigón simple	30	-	30	35			C1	17	
			Hormigón armado	35	30	35	40	C1	17	C2-A	20	
			Hormigón pretensado	40	35	40	45	C2	35	C2-B	25	
Penetración de agua o succión capilar.			Propiedad\Condición de exposición	CL	M1	M2	M3			C0	-	
			Penetración de agua (mm)	máx.	≤ 50	≤ 50	≤ 50			≤ 50	C1	≤ 50
				Media	≤ 30	≤ 30	≤ 30			≤ 30	C2-A	≤ 40
			Succión capilar (g/m²/s ^{0.5})	4	4	4	4			C2-B	≤ 30	
Dosis mínima de cemento (kgf/m³)										C2-C	≤ 20	
										C0	-	
										C1	270	
										C2-A	300	
								C2-B	330			
								C2-C	360			

Fuente: Perú, EEUU y Argentina "Comparación de la normativa peruana con la normativa extranjera relacionada a la durabilidad del concreto" Colombia y Chile elaboración propia.

Comentario: Los únicos países que presentan datos en cuanto a relación máxima agua/material cementante son Argentina y Colombia. Ambos contienen datos parecidos, esto dependerá del grado de exposición.

Argentina, Colombia y Chile presentan parámetros de esfuerzo de compresión mínima, Argentina tiene los valores más conservadores.

Argentina y Chile presentan parámetros de profundidad de penetración o succión capilar, Chile tiene los valores más conservadores.

Chile es el único país que solicita una dosis mínima de cemento en casos de riesgo de corrosión.

3.2 Propuesta de norma técnica.

Debido a que la normativa peruana no contempla el ensayo de permeabilidad, la presente investigación brindará una propuesta de Norma Técnica la cual estará basada en las normas técnicas:

- UNE – EN 12390 -8 Profundidad de penetración de agua bajo presión.
- NTC 4483 Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua.
- NCh 2262.Of 97 Determinación de la impermeabilidad al agua – Método de penetración de agua bajo presión.

El documento nos proporcionará: el objetivo de este ensayo, materiales y equipos necesarios, procedimiento a seguir y los datos importantes a presentarse en el informe final.

La propuesta de norma técnica se encontrará en los anexos del presente documento.

3.3 Guía de permeabilidad del concreto.

Este documento estará adjunto en los anexos y contendrá la siguiente información:

- Marco teórico informativo.
- Propuesta de norma técnica del ensayo de permeabilidad al concreto.
- Manual de utilización de la máquina de permeabilidad encontrada en el laboratorio de la Universidad Católica de Santa María.
- Resultados de permeabilidad obtenidos en la presente investigación y algunas recomendaciones que servirán para la realización de nuevos diseños de mezcla.

3.4 Caracterización de los materiales

Un concreto de calidad depende de una variedad de factores, siendo uno de los más relevantes los materiales a utilizar, es por ello que es necesario realizar un estudio de las propiedades físicas de los mismos.

Para los distintos ensayos de los materiales se tomaron en cuenta tres muestras de manera aleatoria, de las cuales se obtendrá un resultado promedio que será utilizado en los diseños de mezcla realizados posteriormente.

3.3.1 Agregados.

3.3.1.1 Agregado grueso.

El agregado grueso utilizado en la investigación es piedra chancada de tamaño máximo nominal de 1/2". A continuación, se mencionarán los ensayos realizados a dicho agregado.

3.3.1.1.1 *Análisis granulométrico del agregado*

Este ensayo tiene como objetivo hallar la distribución de partículas del agregado grueso, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 400.012 (2013).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.5gf.
- Tamices normalizados según la norma NTP 350.001 aptos para evitar pérdidas durante la ejecución del ensayo.

Se utilizaron los tamices normalizados 3/4", 1/2", 3/8" y N°4.

- Horno que mantenga una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Agitador mecánico.
- Cucharones.

- Bandejas.

Procedimiento

- Tomar tres muestras de agregado de manera aleatoria.
- Pesar una cantidad igual o mayor a la recomendada por la norma NTP 400.012 – 2013 Anexo A. El ensayo consideró un peso inicial de 3 kgf.
- Ordenar los tamices de menor a mayor abertura, considerando los de mayor abertura en la parte superior.
- Colocar la muestra en el primer tamiz de la parte superior y tapar.
- Situar el conjunto de tamices en el agitador mecánico y encender el mismo por un tiempo de 3 minutos.
- Pesar el material retenido en cada tamiz

Cálculos

- Para verificar que el agregado ensayado cuente con una buena granulometría, la norma NTP 400.037 propone un rango límite, husos, dentro del cual debe situarse la curva granulométrica, este rango dependerá del tamaño máximo nominal del agregado. En la presente investigación se consideró el Huso 7.
- Porcentaje de material retenido.

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso retenido por el tamiz}}{\text{Total de material luego de tamizado}} * 100 \quad (4)$$

- Porcentaje de material retenido acumulado del primer tamiz.

$$\text{Primer \%Retenido acumulado} = \% \text{Ret.} \quad (5)$$

- Porcentaje de material retenido acumulado del segundo al último tamiz.

$$\% \text{Ret. acum} = \% \text{Ret.} + \% \text{Ret. acum. del tamiz anterior} \quad (6)$$

- Porcentaje de material pasante.

$$\%Pasante = 100\% - \%Retenido \text{ acumulado del tamiz} \quad (7)$$

Resultados

- Muestra 1: Se obtuvo un módulo de fineza de 6.07

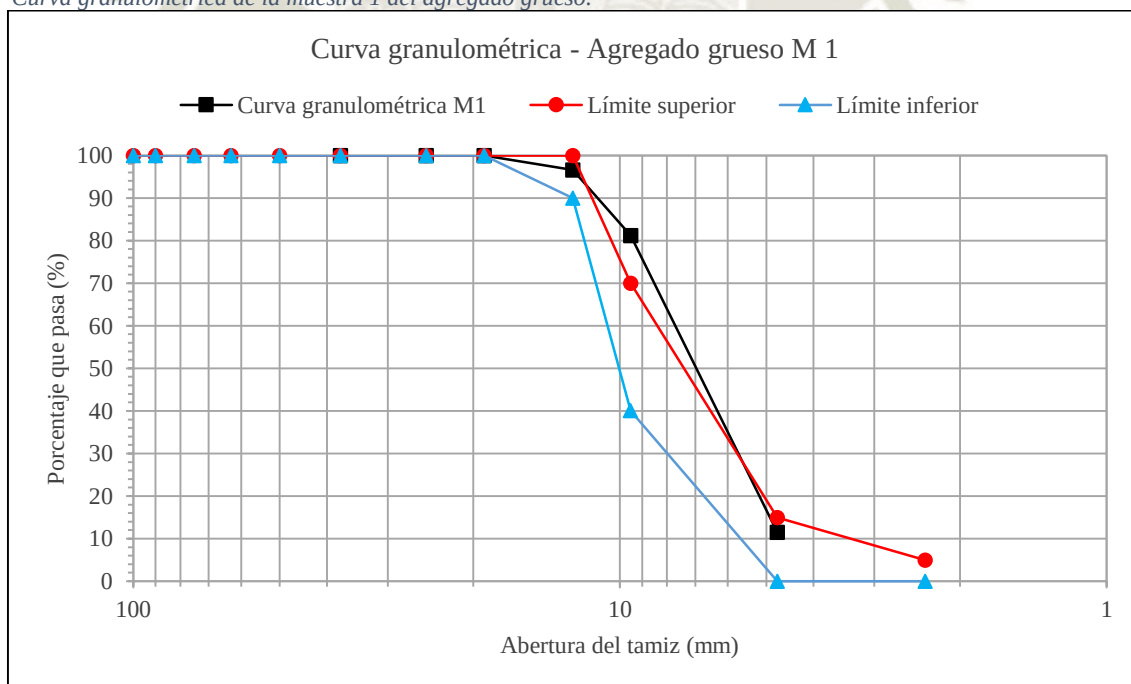
Tabla 19:
Granulometría del agregado grueso - muestra 1.

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12.5	103.00	3.43	3.43	96.57
3/8"	9.5	461.70	15.40	18.83	81.17
#4	4.75	2088.10	69.63	88.46	11.54
Fondo		346.20	11.54	100	0
Total		2999.00	100		

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

La tabla muestra los valores de peso obtenidos en cada tamiza mencionado.

Ilustración 1:
Curva granulométrica de la muestra 1 del agregado grueso.



Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

- Muestra 2: Se obtuvo un módulo de fineza de 6.18

Tabla 20:

Granulometría del agregado grueso - muestra 2.

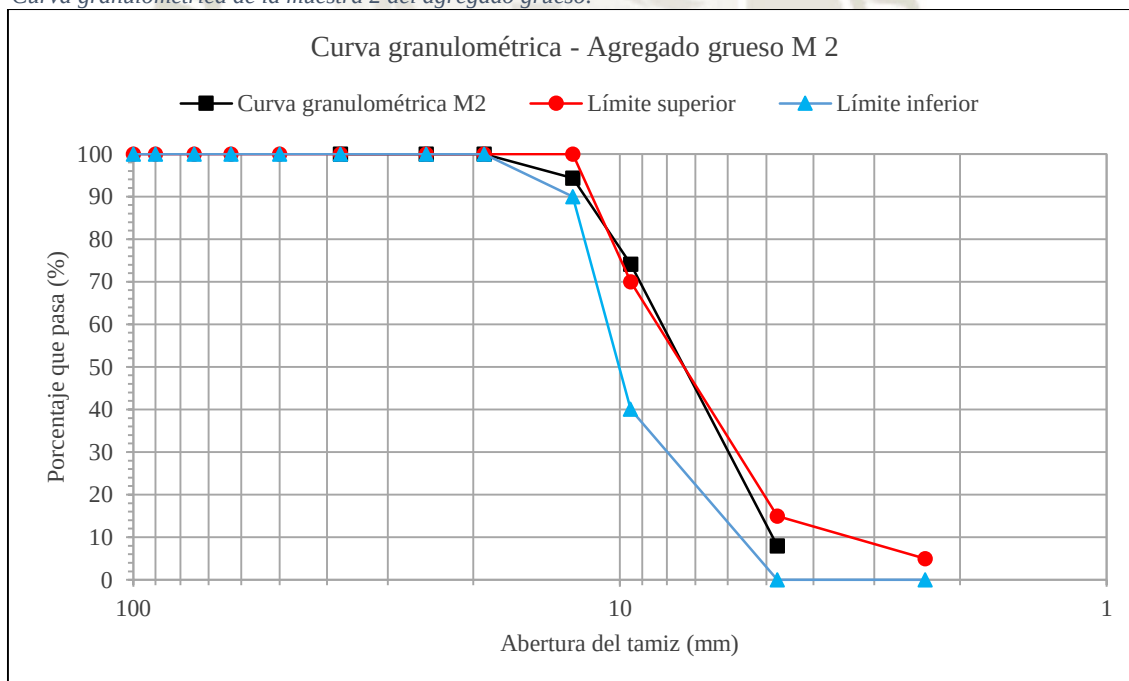
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12.5	169.50	5.65	5.65	94.35
3/8"	9.5	606.30	20.22	25.88	74.12
#4	4.75	1983.00	66.14	92.02	7.98
Fondo		239.3.00	7.98	100	0
Total		2998.10	100		

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

La tabla muestra los valores de peso obtenidos en cada tamiza mencionado.

Ilustración 2:

Curva granulométrica de la muestra 2 del agregado grueso.



Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

- Muestra 3: Se obtuvo un módulo de fineza de 6.24

Tabla 21:

Granulometría del agregado grueso - muestra 3.

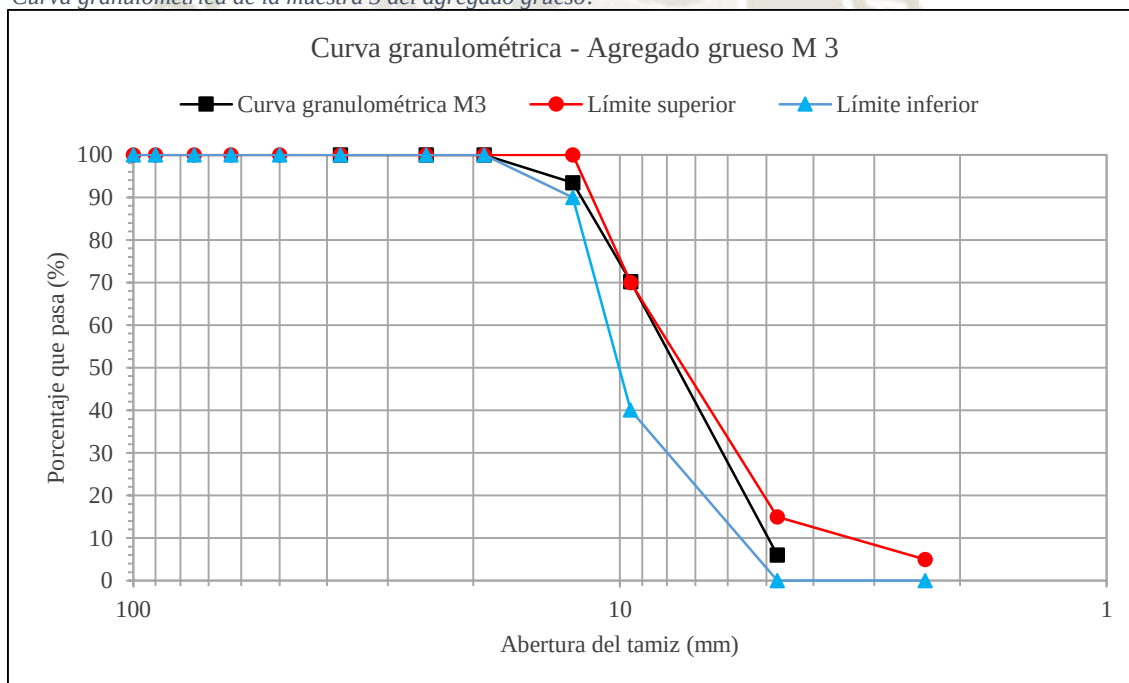
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12.5	196.00	6.54	6.54	93.46
3/8"	9.5	696.40	23.23	29.77	70.23
#4	4.75	1924.50	64.21	93.98	6.02
Fondo		180.40	6.02	100	0
Total		2997.30	100		

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

La tabla muestra los valores de peso obtenidos en cada tamiza mencionado.

Ilustración 3:

Curva granulométrica de la muestra 3 del agregado grueso.



Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

- Resultados finales: Se obtuvo un módulo de fineza de 6.16

Tabla 22:

Granulometría del agregado grueso.

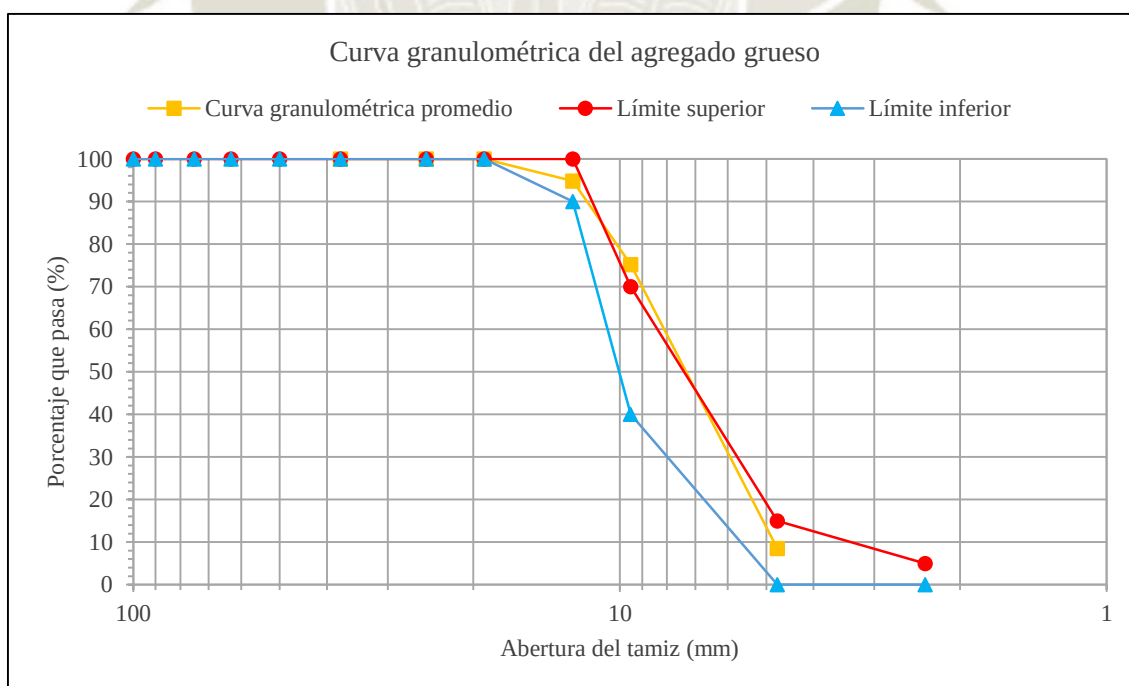
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
1 1/2"	37.5	0	0	0	100
1"	25	0	0	0	100
3/4"	19	0	0	0	100
1/2"	12.5	156.20	5.20	5.20	94.79
3/8"	9.5	588.10	24.80	24.80	75.17
#4	4.75	1998.50	91.50	91.50	8.51
Fondo		255.30	8.50	100	0
Total		2998.10	100		

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

La tabla muestra los valores de peso promedio por tamiz de las tres anteriores pruebas.

Ilustración 4:

Curva granulométrica del agregado grueso.



Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

3.3.1.1.2 *Ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados.*

Este ensayo tiene como objetivo hallar la masa por unidad de volumen del agregado grueso, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 400.017 (2011).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.5gf.
- Varilla de acero liso utilizada para el apisonado, debe tener un diámetro de 16 mm y bordes redondeados.
- Recipiente metálico de forma cilíndrica, la norma NTP 400.017 – 2011 sugiere una capacidad de $1/10 \text{ pie}^3$ considerando el tamaño máximo nominal de $1/2''$ del agregado grueso.
- Cucharones.
- Bandejas.

Procedimiento de peso unitario suelto

- Tomar tres muestras de agregado de manera aleatoria.
- Llenar el recipiente metálico, el agregado será descargado desde una altura no mayor a 50 mm del borde superior, se tendrá cuidado que este no se segregue.
- Nivelar la superficie de manera que no queden espacios vacíos en la parte superior, este procedimiento se realizará evitando cualquier tipo de compactación.
- Determinar la masa de agregado en el recipiente.

Procedimiento de peso unitario compactado

- Llenar el recipiente metálico por tercios.

- Después de cada tercio llenado se deberá apisonar el material 25 veces con ayuda de la varilla lisa.
- Al terminar de llenar el último tercio, nivelar la superficie de manera que no queden espacios vacíos en la parte superior.
- Determinar la masa de agregado en el recipiente.

Cálculos

- Calcular el volumen del recipiente basándose en el promedio de tres mediciones sucesivas de diámetro “D” y altura “H”.

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * H \quad (8)$$

- Determinar el peso unitario suelto y compactado en kgf/m³

$$P. U. = \frac{\text{Peso del agregado}}{V} \quad (9)$$

Resultados

- En el cálculo del peso unitario suelto y compactado se utilizó un molde de volumen 2792.13 cm³ y peso 1646.00 gf.

Tabla 23:
Muestras de ensayo de peso unitario suelto del agregado grueso.

Muestra	Código	Descripción	Unidad	Cantidad
1	W1	Peso del agregado 1	gf	4230.00
1	W2	Peso del agregado 2	gf	4200.50
1	W3	Peso del agregado 3	gf	4184.00
		Promedio	gf	4204.83
2	W1	Peso del agregado 1	gf	4216.50
2	W2	Peso del agregado 2	gf	4196.50
2	W3	Peso del agregado 3	gf	4195.00
		Promedio	gf	4202.67
3	W1	Peso del agregado 1	gf	4248.50
3	W2	Peso del agregado 2	gf	4207.00
3	W3	Peso del agregado 3	gf	4232.00
		Promedio	gf	4229.17

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 24:

Peso unitario suelto del agregado grueso.

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso unitario suelto S1	kgf/m3	1505.96
Peso unitario suelto S2	kgf/m3	1505.18
Peso unitario suelto S3	kgf/m3	1514.67
Peso unitario suelto	kgf/m3	1508.61

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 25:

Muestras de ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso.

Muestra	Código	Descripción	Unidad	Cantidad
1	W1	Peso del agregado 1	gf	4603.50
1	W2	Peso del agregado 2	gf	4590.50
1	W3	Peso del agregado 3	gf	4549.00
		PROMEDIO	gf	4581.00
2	W1	Peso del agregado 1	gf	4551.00
2	W2	Peso del agregado 2	gf	4606.50
2	W3	Peso del agregado 3	gf	4564.50
		PROMEDIO	gf	4574.00
3	W1	Peso del agregado 1	gf	4569.00
3	W2	Peso del agregado 2	gf	4577.50
3	W3	Peso del agregado 3	gf	4534.50
		PROMEDIO	gf	4560.33

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 26:

Peso unitario compactado del agregado grueso.

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso unitario compactado S1	kgf/m3	1640.68
Peso unitario compactado S2	kgf/m3	1638.18
Peso unitario compactado S3	kgf/m3	1633.28
Peso unitario compactado	kgf/m3	1637.38

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

3.3.1.1.3 Ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso

Este ensayo tiene como objetivo hallar el peso específico del agregado grueso, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 400.021 (2013).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.5gf.
- Cesta con malla de alambre, ésta deberá tener una abertura N°6 y capacidad de 4L a 6L.
- Depósito de agua para sumergir la cesta con malla de alambre.
- Tamiz N° 4 o de 4.75mm.
- Estufa que mantenga una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento

- Tomar tres muestras de agregado que queden retenidas en el tamiz N° 4.
- Sumergir el agregado en agua durante un tiempo de 24h +/- 4 h.
- Colocar el agregado sobre un paño absorbente y remover la capa superficial de agua hasta que se encuentre “saturado superficialmente seco”.
- Pesar una cantidad mínima de 2 kgf según lo recomendado en la NTP 400.021 – 2013. Este peso será denominado “Wsss”.
- El agregado saturado superficialmente seco se coloca inmediatamente en la canastilla de alambre y se obtiene el peso sumergido denominado “Wsa”.
- Posteriormente las muestras serán puestas a secar hasta que se obtenga un peso constante denominado “Wo”.

Cálculos

- Cálculo del peso específico de masa (PEm) en (gf/cm^3).

$$PEm = \frac{W_o}{W_{sss} - W_{sa}} \quad (10)$$

- Cálculo de peso específico saturado superficialmente seco ($PEsss$) en (gf/cm^3).

$$PEsss = \frac{W_{sss}}{W_{sss} - W_{sa}} \quad (11)$$

- Cálculo de peso específico aparente (PEa) en (gf/cm^3).

$$PEa = \frac{W_o}{W_o - W_{sa}} \quad (12)$$

- Cálculo del porcentaje de absorción ($\%Abs$) en %.

$$\%Abs = \frac{W_{sss} - W_o}{W_o} * 100 \quad (13)$$

Resultados

Tabla 27:

Muestras de ensayo de peso específico del agregado grueso.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
P	Peso de canastilla sumergida en agua	gf	815.00
Wsss1	Peso saturado superficialmente seco de la muestra 1	gf	2002.20
Wsss2	Peso saturado superficialmente seco de la muestra 2	gf	2000.00
Wsss3	Peso saturado superficialmente seco de la muestra 3	gf	2065.00
	Peso de canastilla sumergida + muestra sumergida 1	gf	2078.00
	Peso de canastilla sumergida + muestra sumergida 2	gf	2075.00
	Peso de canastilla sumergida + muestra sumergida 3	gf	2123.00
Wsa1	Peso sumergido de la muestra 1	gf	1263.00
Wsa2	Peso sumergido de la muestra 2	gf	1260.00
Wsa3	Peso sumergido de la muestra 3	gf	1308.00
Wo1	Peso seco de la muestra 1	gf	1979.40
Wo2	Peso seco de la muestra 2	gf	1978.50
Wo3	Peso seco de la muestra 3	gf	2046.50

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 28:

Peso específico de masa del agregado grueso.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
PEm1	Peso específico de masa de la muestra 1	gf/cm ³	2.68
PEm2	Peso específico de masa de la muestra 2	gf/cm ³	2.67
PEm3	Peso específico de masa de la muestra 3	gf/cm ³	2.70
PEm	Peso específico de masa	gf/cm³	2.69
PEm	Peso específico de masa	kgf/m³	2684.95

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 29:

Peso específico saturado superficialmente seco del agregado grueso.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
PEsss1	Peso específico saturado superficialmente seco de la muestra 1	gf/cm ³	2.71
PEsss2	Peso específico saturado superficialmente seco de la muestra 2	gf/cm ³	2.70
PEsss3	Peso específico saturado superficialmente seco de la muestra 3	gf/cm ³	2.73
PEsss	Peso específico saturado superficialmente seco	gf/cm³	2.71
PEsss	Peso específico saturado superficialmente seco	kgf/m³	2713.06

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 30:

Peso específico aparente del agregado grueso.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
PEa1	Peso específico aparente de la muestra 1	gf/cm ³	2.76
PEa2	Peso específico aparente de la muestra 2	gf/cm ³	2.75
PEa3	Peso específico aparente de la muestra 3	gf/cm ³	2.77
PEa	Peso específico aparente	gf/cm³	2.76
PEa	Peso específico aparente	kgf/m³	2762.60

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 31:

Porcentaje de absorción del agregado grueso.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
%Abs1	Porcentaje de absorción de la muestra 1	%	1.15
%Abs2	Porcentaje de absorción de la muestra 2	%	1.09
%Abs3	Porcentaje de absorción de la muestra 3	%	0.90
%Abs	Porcentaje de absorción	%	1.05

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

3.3.1.1.4 Contenido de humedad total evaporable de agregados por secado.

Este ensayo tiene como objetivo hallar el volumen de agua retenido en el agregado grueso, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 339.185 (2013).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.5gf.
- Estufa que mantenga una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Recipiente resistente a altas temperaturas.
- Cuchara removedora.

Procedimiento

- Tomar tres muestras de mínimo 2 kg según lo recomendado por la norma NTP 339.185 – 2013. Este será la masa de muestras húmeda denominado “W”.
- Secar el agregado en la estufa hasta obtener un peso constante.
- Dejar enfriar el agregado hasta que se tenga una temperatura maniobrable.
- Pesar la muestra seca, este será denominado “Wo”.

Cálculos

- Calculo del contenido de humedad “ ω ” con la siguiente fórmula.

$$\omega = 100 * \frac{(W - W_o)}{W_o} \quad (14)$$

Resultados

Tabla 32:

Muestra de ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
W	Peso de la muestra 1	gf	2000.00
W	Peso de la muestra 2	gf	2000.00
W	Peso de la muestra 3	gf	2000.00
Wo	Peso de la muestra seca	gf	1992.95
Wo	Peso de la muestra seca	gf	1993.20
Wo	Peso de la muestra seca	gf	1993.71

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33:

Contenido de humedad del agregado grueso.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
ω 1	Contenido de humedad 1	%	0.35
ω 2	Contenido de humedad 2	%	0.34
ω 3	Contenido de humedad 3	%	0.32
ω	Contenido de humedad	%	0.34

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1.2 Agregado fino.

A continuación, se mencionarán los ensayos realizados a dicho agregado.

3.3.1.2.1 Análisis granulométrico del agregado

Este ensayo tiene como objetivo hallar la distribución de partículas del agregado fino, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 400.012 (2013).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.5gf.
- Tamices normalizados según la norma NTP 350.001 aptos para evitar pérdidas durante la ejecución del ensayo.

Se utilizaron los tamices normalizados 3/8", #4, #8, #16, #30, #50, #100 y #200.

- Horno que mantenga una temperatura uniforme de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Agitador mecánico.
- Cucharones.
- Bandejas.

Procedimiento

- Tomar tres muestras de agregado de manera aleatoria.
- Pesar una cantidad igual o mayor a la recomendada por la norma NTP 400.012 – 2013 Anexo A. El ensayo consideró un peso inicial de 0.5 kgf.
- Ordenar los tamices de menor a mayor abertura, considerando los de mayor abertura en la parte superior.
- Colocar la muestra en el primer tamiz de la parte superior y tapar.
- Situar el conjunto de tamices en el agitador mecánico y encender el mismo por un tiempo de 3 minutos.
- Pesar el material retenido en cada tamiz

Cálculos

- Porcentaje de material retenido.

$$\% \text{Retenido} = \frac{\text{Peso retenido por el tamiz}}{\text{Total de material luego de tamizado}} * 100 \quad (15)$$

- Porcentaje de material retenido acumulado del primer tamiz.

$$\text{Primer \%Retenido acumulado} = \% \text{Ret.} \quad (16)$$

- Porcentaje de material retenido acumulado del segundo al último tamiz.

$$\% \text{Ret. acum} = \% \text{Ret.} + \% \text{Ret. acum. del tamiz anterior} \quad (17)$$

- Porcentaje de material pasante.

$$\% \text{Pasante} = 100\% - \% \text{Retenido acumulado del tamiz} \quad (18)$$

Resultados

- Muestra 1: Se obtuvo un módulo de fineza de 2.20.

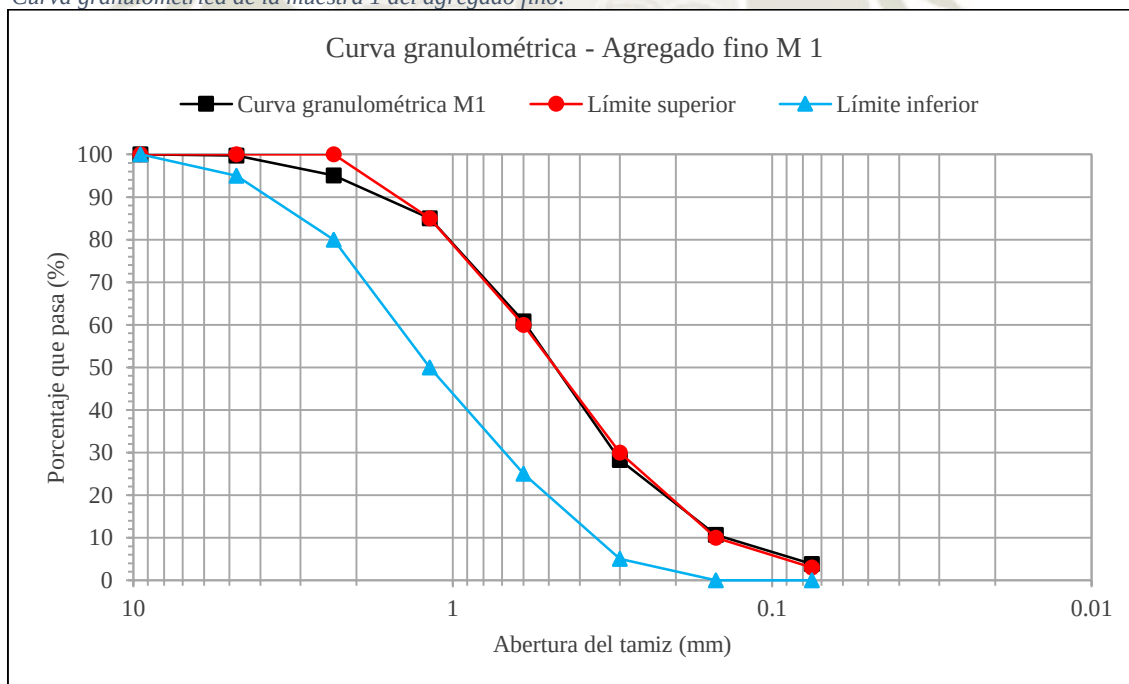
Tabla 34:
Granulometría del agregado fino - muestra 1.

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	0	0	0	100
#4	4.75	1.40	0.28	0.28	99.72
#8	2.36	23.10	4.62	4.90	95.10
#16	1.18	50.40	10.09	14.99	85.01
#30	0.6	120.80	24.17	39.16	60.84
#50	0.3	162.70	32.56	71.72	28.28
#100	0.15	88.10	17.63	89.35	10.65
#200	0.075	34.00	6.80	96.16	3.84
Fondo		19.20	3.84	100	0
Total		499.70	100		

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

La tabla muestra los valores de peso obtenidos en cada tamiza mencionado.

Ilustración 5:
Curva granulométrica de la muestra 1 del agregado fino.



Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

- Muestra 2: Se obtuvo un módulo de fineza de 2.39.

Tabla 35:

Granulometría del agregado fino - muestra 2.

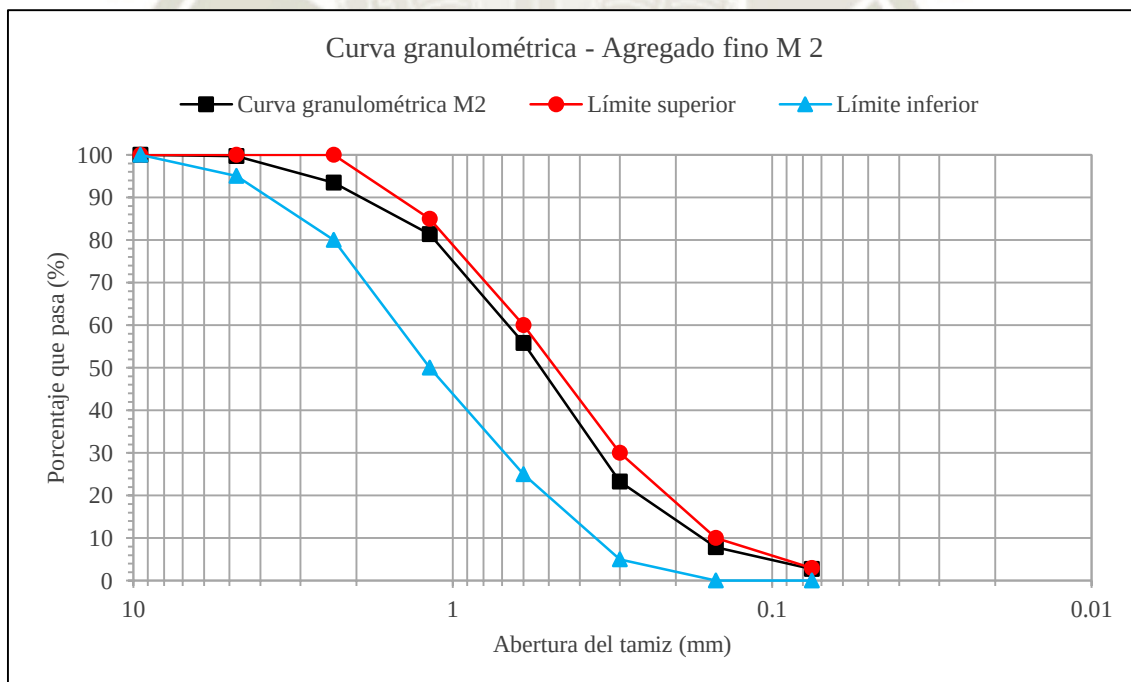
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	0	0	0	100
#4	4.75	1.70	0.34	0.34	99.66
#8	2.36	31.00	6.21	6.55	93.45
#16	1.18	60.40	12.09	18.64	81.36
#30	0.6	127.80	25.59	44.22	55.78
#50	0.3	162.30	32.49	76.72	23.28
#100	0.15	77.00	15.42	92.13	7.87
#200	0.075	25.80	5.17	97.30	2.70
Fondo		13.50	2.70	100	0
Total		499.50	100		

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

La tabla muestra los valores de peso obtenidos en cada tamiza mencionado.

Ilustración 6:

Curva granulométrica de la muestra 2 del agregado fino.



Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

- Muestra 3: Se obtuvo un módulo de fineza de 2.41.

Tabla 36:

Granulometría del agregado fino - muestra 3.

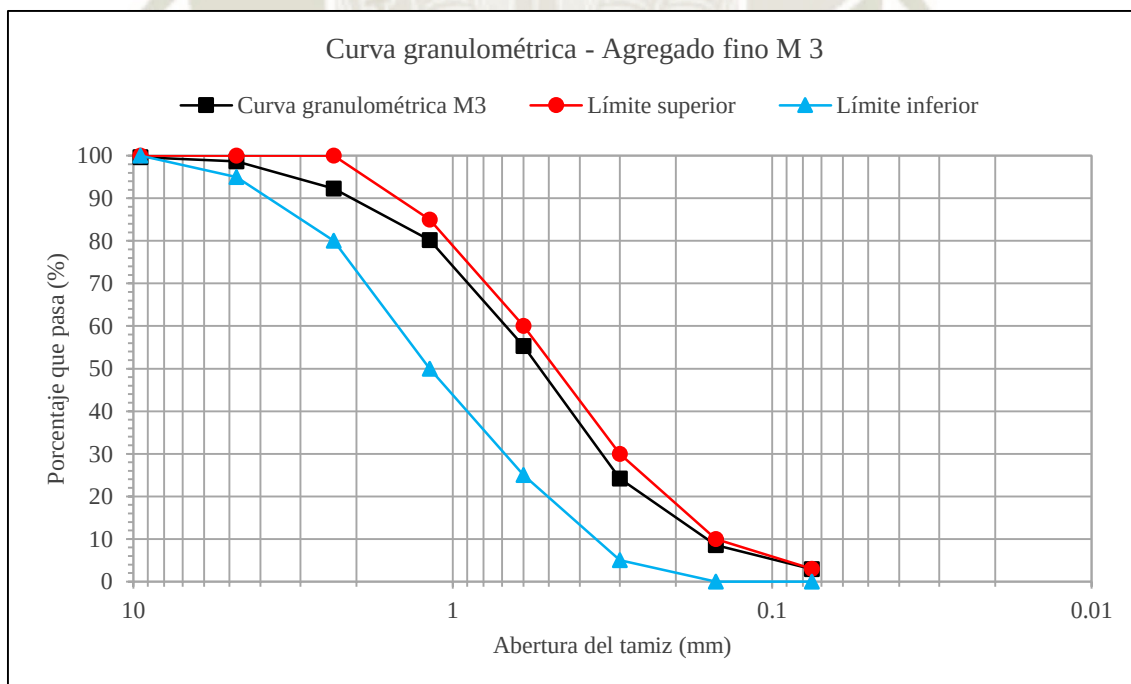
Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	1.8	0.36	0.36	99.64
#4	4.75	4.7	0.94	1.3	98.7
#8	2.36	32.1	6.44	7.74	92.26
#16	1.18	60.2	12.07	19.81	80.19
#30	0.6	124.3	24.92	44.73	55.27
#50	0.3	155.1	31.09	75.82	24.18
#100	0.15	78.1	15.66	91.48	8.52
#200	0.075	28	5.61	97.09	2.91
Fondo		14.5	2.91	100	0
Total		498.8	100		

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

La tabla muestra los valores de peso obtenidos en cada tamiza mencionado.

Ilustración 7:

Curva granulométrica de la muestra 3 del agregado fino.



Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

- Resultados finales: Se obtuvo un módulo de fineza de 2.33.

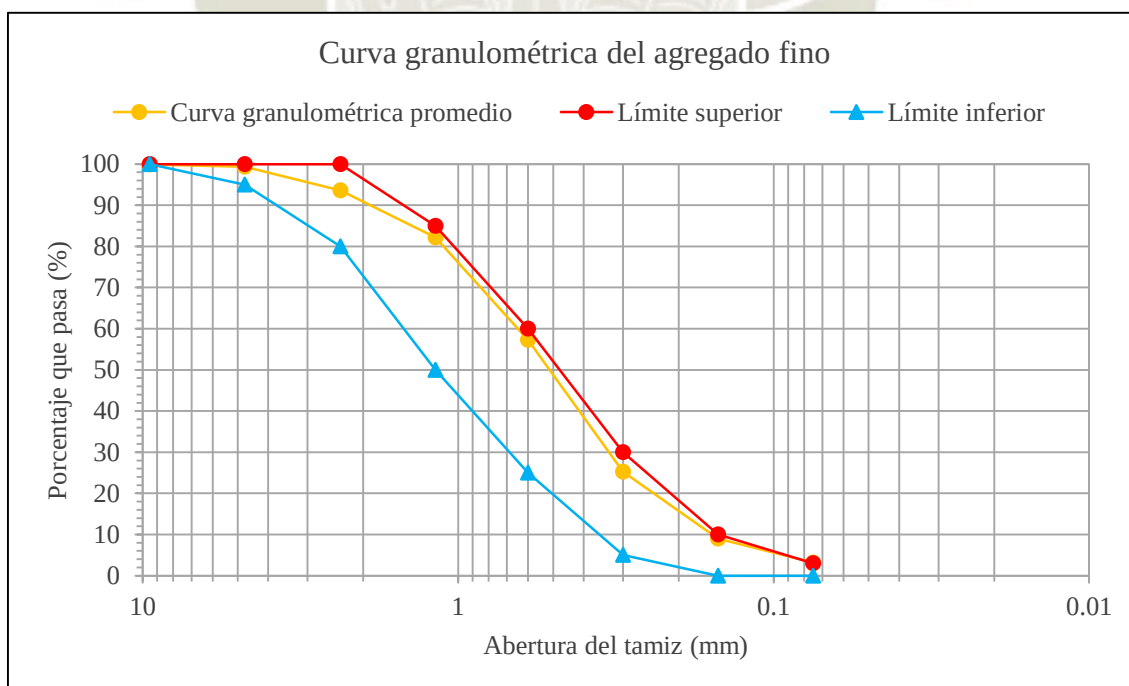
Tabla 37:
Granulometría del agregado fino.

Malla	Abertura (mm)	Peso retenido (gf)	% Retenido	% Retenido acumulado	% Pasante
3/8"	9.5	0.60	0.12	0.12	99.88
#4	4.75	2.60	0.64	0.64	99.36
#8	2.36	28.73	6.4	6.40	93.6
#16	1.18	57.00	17.81	17.81	82.19
#30	0.6	124.30	42.71	42.70	57.29
#50	0.3	160.03	74.75	74.75	25.25
#100	0.15	81.07	90.99	90.99	9.01
#200	0.075	29.27	96.85	96.85	3.15
Fondo		15.73	3.15	100	0
Total		499.3	100		

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

La tabla muestra los valores de peso promedio por tamiz de las tres anteriores pruebas.

Ilustración 8:
Curva granulométrica del agregado fino.



Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

3.3.1.2.2 *Ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados.*

Este ensayo tiene como objetivo hallar la masa por unidad de volumen del agregado fino, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 400.017 (2011).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.5gf.
- Varilla de acero liso utilizada para el apisonado, debe tener un diámetro de 16 mm y bordes redondeados.
- Recipiente metálico de forma cilíndrica, la norma NTP 400.017 – 2011 sugiere una capacidad de 1/10 pie³.
- Cucharones.
- Bandejas.

Procedimiento de peso unitario suelto

- Tomar tres muestras de agregado de manera aleatoria.
- Llenar el recipiente metálico, el agregado será descargado desde una altura no mayor a 50 mm del borde superior, se tendrá cuidado que este no se segregue.
- Nivelar la superficie de manera que no queden espacios vacíos en la parte superior, este procedimiento se realizará evitando cualquier tipo de compactación.
- Determinar la masa de agregado en el recipiente.

Procedimiento de peso unitario compactado

- Llenar el recipiente metálico por tercios.

- Después de cada tercio llenado se deberá apisonar el material 25 veces con ayuda de la varilla lisa.
- Al terminar de llenar el último tercio, nivelar la superficie de manera que no queden espacios vacíos en la parte superior.
- Determinar la masa de agregado en el recipiente.

Cálculos

- Calcular el volumen del recipiente basándose en el promedio de tres mediciones sucesivas de diámetro “D” y altura “H”.

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * H \quad (19)$$

- Determinar el peso unitario suelto y compactado en kgf/m³.

$$P.U. = \frac{\text{Peso del agregado}}{V} \quad (20)$$

Resultados

- Para el cálculo del peso unitario suelto y compactado se utilizó un molde de volumen 2805.93 cm³ y peso 1647.50 gf.

Tabla 38:

Muestras de ensayo de peso unitario suelto del agregado fino.

Muestra	Código	Descripción	Unidad	Cantidad
1	W1	Peso del agregado 1	gf	3940.50
1	W2	Peso del agregado 2	gf	3957.50
1	W3	Peso del agregado 3	gf	3947.50
		Promedio	gf	3948.50
2	W1	Peso del agregado 1	gf	3970.00
2	W2	Peso del agregado 2	gf	3969.00
2	W3	Peso del agregado 3	gf	3965.50
		Promedio	gf	3968.17
3	W1	Peso del agregado 1	gf	3977.50
3	W2	Peso del agregado 2	gf	3979.00
3	W3	Peso del agregado 3	gf	3975.00
		Promedio	gf	3977.17

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 39:
Peso unitario suelto del agregado fino.

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso unitario suelto S1	kgf/m ³	1407.20
Peso unitario suelto S2	kgf/m ³	1414.20
Peso unitario suelto S3	kgf/m ³	1417.41
Peso unitario suelto	kgf/m³	1412.94

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 40:
Muestras de ensayo de peso unitario compactado del agregado fino.

Muestra	Código	Descripción	Unidad	Cantidad
1	W1	Peso del agregado 1	gf	4511.50
1	W2	Peso del agregado 2	gf	4507.50
1	W3	Peso del agregado 3	gf	4501.50
	Promedio		gf	4506.83
2	W1	Peso del agregado 1	gf	4495.50
2	W2	Peso del agregado 2	gf	4527.50
2	W3	Peso del agregado 3	gf	4519.00
	Promedio		gf	4514.00
3	W1	Peso del agregado 1	gf	4535.00
3	W2	Peso del agregado 2	gf	4541.50
3	W3	Peso del agregado 3	gf	4548.00
	Promedio		gf	4541.50

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 41:
Peso unitario compactado del agregado fino.

Descripción	Unidad	Cantidad
Peso unitario compactado S1	kgf/m ³	1606.18
Peso unitario compactado S2	kgf/m ³	1608.73
Peso unitario compactado S3	kgf/m ³	1618.53
Peso unitario compactado	kgf/m³	1611.15

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

3.3.1.2.3 Ensayo para determinar la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino.

Este ensayo tiene como objetivo hallar el peso específico del agregado fino, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 400.022 (2013).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.1gf.
- Picnómetro graduado de 500 cm³. Este volumen será denominado “V”.
- Molde y pisón para ensayos superficiales de humedad.
- Estufa que mantenga una temperatura de 110 °C ± 5 °C.

Procedimiento

- Tomar tres muestras de agregado pasen por en el tamiz N° 4.
- Sumergir el agregado en agua durante un tiempo de 24h +/- 4 h.
- Dejar secar el agregado al aire o en una estufa. El agregado debe quedar saturado superficialmente seco para lo cual se hace la prueba de humedad superficial.
- La prueba de humedad superficial podemos ejecutarla con los siguientes pasos:
 - Colocar el molde cónico sobre una superficie no absorbente (el menor diámetro en la parte superior)
 - Llenar el molde de agregado y compactar 25 veces con ayuda del pisón a una altura de 5mm aproximadamente.
 - Levantar el molde de forma vertical, si el agregado conserva la forma del cono, el material no se encuentra en la condición solicitada por lo que se continua con el proceso de secado.

- Realizar la prueba de humedad superficial nuevamente hasta que parte del agregado se desmorone, esto indicará que la muestra se encuentra en estado saturado superficialmente seco.
- Pesar 500gf de la muestra saturada superficialmente seca “Wsss” e incorporarla al picnómetro.
- Agregar agua al 90% en el picnómetro que contiene la muestra de agregado.
- Eliminar el aire atrapado por la muestra, esto se logra de forma mecánica o por vibración externa.
- Completar con agua el volumen restante del picnómetro hasta llegar a la marca de graduación de 500 cm³ y pesarlo, este será considerado el peso de agua añadida “Pa”.
- Retirar el agregado del picnómetro.
- El agregado será puesto a secar hasta que se obtenga un peso constante “Wo”.
- Pesar el picnómetro vacío.
- Pesar el picnómetro lleno de agua en un 100% de su capacidad.

Cálculos

- Cálculo de la densidad de masa (Dm) en (gf/cm³).

$$Dm = \frac{W_o}{V - Pa} \quad (21)$$

- Cálculo del peso específico saturado superficialmente seco (D_{sss}) en (gf/cm³).

$$D_{sss} = \frac{W_{sss}}{V - P_a} \quad (22)$$

- Cálculo del peso específico aparente (D_a) en (gf/cm³).

$$D_a = \frac{W_o}{(V - P_a) - (W_{sss} - W_o)} \quad (23)$$

- Cálculo del porcentaje de absorción (%Abs) en %.

$$\%Abs = \frac{W_{sss} - W_o}{W_o} * 100 \quad (24)$$

Resultados

Tabla 42:
Muestras de ensayo de peso específico del agregado fino.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
V	Volumen de la fiola	cm ³	500.00
Psss	Peso de la muestra saturada superficialmente seca	gf	500.00
Pf	Peso de la fiola 1	gf	159.80
Pf	Peso de la fiola 2	gf	162.20
Pf	Peso de la fiola 3	gf	155.70
M1	Peso de la fiola + agua y muestra 1	gf	959.60
M2	Peso de la fiola + agua y muestra 2	gf	962.50
M3	Peso de la fiola + agua y muestra 3	gf	956.40
Pa1	Peso agua añadida al picnómetro 1	gf	299.80
Pa2	Peso agua añadida al picnómetro 2	gf	300.30
Pa3	Peso agua añadida al picnómetro 3	gf	300.70
Wo1	Peso seco de la muestra 1	gf	484.90
Wo2	Peso seco de la muestra 2	gf	484.30
Wo3	Peso seco de la muestra 3	gf	485.00

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 43:
Densidad de masa del agregado fino.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
Dm1	Densidad de masa de la muestra 1	gf/cm ³	2.42
Dm2	Densidad de masa de la muestra 2	gf/cm ³	2.43
Dm3	Densidad de masa de la muestra 3	gf/cm ³	2.43
Dm	Densidad de masa	gf/cm³	2.43
Dm	Densidad de masa	kgf/m³	2426.91

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 44:

Densidad saturada superficialmente seco de la muestra del agregado fino.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
Dsss1	Densidad saturado superficialmente seco de la muestra 1	gf/cm ³	2.50
Dsss2	Densidad saturado superficialmente seco de la muestra 2	gf/cm ³	2.50
Dsss3	Densidad saturado superficialmente seco de la muestra 3	gf/cm ³	2.51
Dsss	Densidad saturado superficialmente seco	gf/cm³	2.50
Dsss	Densidad saturado superficialmente seco	kgf/m³	2503.35

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 45:

Densidad aparente del agregado fino.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
Da1	Densidad aparente de la muestra 1	gf/cm ³	2.62
Da2	Densidad aparente de la muestra 2	gf/cm ³	2.63
Da3	Densidad aparente de la muestra 3	gf/cm ³	2.63
Da	Densidad aparente	gf/cm³	2.63
Da	Densidad aparente	kgf/m³	2627.77

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

Tabla 46:

Porcentaje de absorción del agregado fino.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
%Abs1	Porcentaje de absorción de la muestra 1	%	3.11
%Abs2	Porcentaje de absorción de la muestra 2	%	3.24
%Abs3	Porcentaje de absorción de la muestra 3	%	3.09
%Abs	Porcentaje de absorción	%	3.15

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

3.3.1.2.4 Contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

Este ensayo tiene como objetivo hallar el volumen de agua retenido en el agregado fino, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 339.185 (2013).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.5gf.
- Estufa que mantenga una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Recipiente resistente a altas temperaturas.
- Cuchara removedora.

Procedimiento

- Tomar tres muestras de mínimo 0.5 kg según lo recomendado por la norma NTP 339.185 – 2013. Este será la masa de muestras húmeda denominado “W”.
- Secar el agregado en la estufa hasta obtener un peso constante.
- Dejar enfriar el agregado hasta que se tenga una temperatura maniobrable.
- Pesar la muestra seca, este será denominado “Wo”.

Cálculos

- Cálculo del contenido de humedad “ ω ” con la siguiente fórmula.

$$\omega = 100 * \frac{(W - W_o)}{W_o} \quad (25)$$

Resultados

Tabla 47:
Muestra de ensayo de contenido de humedad del agregado fino.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
W	Peso de la muestra 1	gf	500.00
W	Peso de la muestra 2	gf	500.00
W	Peso de la muestra 3	gf	500.00
Wo	Peso de la muestra seca	gf	497.29
Wo	Peso de la muestra seca	gf	497.70
Wo	Peso de la muestra seca	gf	498.42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48:
Contenido de humedad del agregado fino.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
ω 1	Contenido de humedad 1	%	0.55
ω 2	Contenido de humedad 2	%	0.46
ω 3	Contenido de humedad 3	%	0.32
ω	Contenido de humedad	%	0.44

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Cementos.

3.3.2.1 Ensayo de peso específico del cemento

Este ensayo tiene como objetivo hallar el peso específico del cemento, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 334.005 (2018).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.005gf.
- Embudo.
- Termómetro graduado en décimas de grados Celsius.
- Baño termorregulador capaz de mantener una temperatura constante próxima a la temperatura ambiente.
- Frasco graduado Le Chatelier.
- Líquido de ensayo necesario para la determinar la densidad del cemento, en la presente investigación se utilizó petróleo.

Procedimiento

- Pesar 64 gf de cemento.
- Llenar el frasco Le Chatelier con el líquido de ensayo hasta encontrarse entre las marcas 0 ml y 1 ml, posteriormente secar el interior del frasco que no es ocupado por el líquido de ensayo.
- Registrar la primera lectura.
- Dejar que la temperatura del líquido se estabilice y sea próxima a la temperatura ambiente, realizar la segunda lectura.
- Introducir el cemento evitando atoros y salpicaduras a lo largo del frasco.
- Eliminar las burbujas de aire contenidas en la muestra de cemento agitando el frasco de forma manual.
- Tomar la lectura final.

Cálculos

- Tomar apuntes de la diferencia de lecturas, esta será el volumen que ocupa la muestra de cemento.
- Calcular el peso específico con la siguiente ecuación.

$$\rho \left(\frac{\text{gf}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{Peso de cemento (64 gf)}}{\text{Volumen desplazado (ml)}} \quad (26)$$

Resultados

3.3.2.1.1 Cemento Yura tipo I

Tabla 49:

Peso específico del cemento Yura tipo I.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
P	Peso de la muestra	gf	64.00
Lo1	Lectura inicial	-	0.40
Lo'1	Lectura pasados 5 min	-	0.60
L01	Lectura inicial real	ml	0.60
Lf1	Lectura final luego de echar el cemento	ml	21.60
V1	Volumen desplazado luego de echar el cemento	ml	21.00
PE	Peso específico del cemento	gf/cm³	3.05

Fuente: Adaptación de informe de propiedades de los materiales proyecto semilleros de investigación.

3.3.2.1.2 Cemento Yura tipo HS

Tabla 50:

Peso específico del cemento Yura tipo HS.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad
P	Peso de la muestra	gf	64.00
Lo1	Lectura inicial	-	0.20
Lo'1	Lectura pasados 5 min	-	0.30
L01	Lectura inicial real	ml	0.30
Lf1	Lectura final luego de echar el cemento	ml	23.70
V1	Volumen desplazado luego de echar el cemento	ml	23.40
PE	Peso específico del cemento	gf/cm³	2.74

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Aditivos

Se utilizó el aditivo llamado “Gaia Nanosílice” en mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo IP y HS para relaciones agua cemento 0.45 y 0.4 debido a la demanda de agua causada por la alta concentración de cemento.

Las propiedades del mismo podrán ser encontradas en los anexos del presente documento.

3.2 Diseño de mezcla.

El diseño de mezclas utilizado en la presente investigación consta de dos partes.

- Diseño de mezcla base.
- Diseño de mezcla final.

3.2.1 Diseño de mezcla base.

Se tomó en cuenta el método de diseño propuesto por el Comité 211 del ACI, el cual nos proporciona una serie de pasos a seguir para obtener las proporciones de materiales que cumplirán con los requerimientos del concreto a elaborar.

Teniendo en cuenta una previa caracterización de los materiales a utilizar.

Tabla 51:
Datos del agregado fino.

Datos agregado fino	
Porcentaje de absorción (%)	3.15
Contenido de humedad (%)	0.38
Módulo de fineza	2.33
Peso específico (gf/cm ³)	2.43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52:
Datos del agregado grueso.

Datos agregado grueso	
Porcentaje de absorción (%)	1.05
Contenido de humedad (%)	0.14
Módulo de fineza	2.00
Peso específico (gf/cm ³)	2.69
Peso unitario seco compactado (gf/cm ³)	1.64

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53:
Datos del cemento.

Datos cemento	
Peso específico (Cemento tipo I)	3.05

Fuente: Elaboración propia.

(Rivva, Diseño de mezclas, 2010) muestra el siguiente procedimiento.

3.2.1.1 Selección de la resistencia promedio.

Se deberá seleccionar una resistencia promedio en función a la resistencia que se quiere obtener en obra ($F'c$) y a los datos estadísticos con lo que el diseñador cuenta.

Existen 3 casos.

- Caso 1: Cuando se tienen los resultados de 30 ensayos consecutivos realizados en los últimos doce meses.
- Caso 2: Cuando se tienen los resultados de 15 a 29 ensayos consecutivos en los últimos doce meses.
- Caso 3: Cuando no se tienen datos estadísticos.

La presente investigación no cuenta con datos estadísticos, por lo que se encuentra en el caso 3, para el cual se proporciona la siguiente tabla para el cálculo de la resistencia promedio.

Tabla 54:
Resistencia a la compresión promedio.

$F'c$	$F'cr$
Menos de 210	$F'c+70$
210 a 350	$F'c+84$
Sobre 350	$F'c+98$

Fuente (Rivva, Diseño de mezclas, 2010)

Inicialmente se considerará una resistencia a la compresión $F'c = 195$ kgf/cm². Se eligió esta resistencia ya que, siguiendo los pasos posteriormente descritos, nos proporcionará una relación agua/cemento de 0.60, la cual es una de las propuestas en la investigación.

Con esta resistencia a la compresión se obtiene una resistencia a la compresión promedio de $F'cr=265$ kgf/cm².

3.2.1.2 Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

La norma NTP 400.037 (2018) considera tamaño máximo nominal al primer tamiz que contenga de un 5% a 10% de material retenido.

La selección de este parámetro dependerá del tipo de estructura a construir y la trabajabilidad que se desea que tenga el concreto. Se recomienda que el tamaño máximo nominal no debe exceder en tamaño a un quinto de la menor distancia entre caras de encofrado, un tercio del peralte de las losas y tres cuartos del menor espacio entre barras de acero.

Teniendo en cuenta las recomendaciones anteriores, se elegirá el tamaño máximo nominal de 1/2" ya que es el que presenta menos limitaciones.

3.2.1.3 Selección del asentamiento.

La norma NTP 339.035 (2015) indica que el asentamiento o Slump es un parámetro que nos indica la consistencia del concreto. Esta dependerá del sistema de colocación y el tipo de compactación del concreto.

El comité ACI 211 nos brinda la siguiente tabla.

Tabla 55:
Selección de asentamiento.

Tipo de estructura	Slump Máximo	Slump Mínimo
Zapatas y muros de cimentación armados	3"	1"
Cimentaciones simples y calzaduras	3"	1"
Vigas y muros armados	4"	1"
Columnas de edificios	4"	2"
Losas y pavimentos	3"	1"
Concreto ciclópeo	2"	1"
Concreto superplastificado	6"	8"
Plástica	4"	3"
Seca	2"	1"

Fuente (Rivva, Diseño de mezclas, 2010).

En la presente investigación se consideró una consistencia plástica con un asentamiento de 4" a 3" debido a que nos proporciona una buena la fluidez y trabajabilidad.

3.2.1.4 Selección del volumen unitario de agua.

El volumen unitario de agua es la cantidad de agua por unidad cúbica de concreto que será agregada a la mezcla para obtener la consistencia elegida, este considera los agregados en estado seco por lo que posteriormente se realizará una corrección teniendo en cuenta el contenido de humedad y absorción real.

El comité ACI 211 nos brinda la siguiente tabla.

Tabla 56:
Volumen unitario de agua.

Asentamiento	Agua en l/m ³ , para los tamaños máximos nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	Concreto sin aire incorporado							
TMN	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
Asentamiento	Concreto con aire incorporado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
TMN	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	

Fuente (Rivva, Diseño de mezclas, 2010).

En la presente investigación se consideró un volumen de 216 litros debido a que se tiene un asentamiento de 3" a 4" y un tamaño máximo nominal de 1/2".

3.2.1.5 Selección de contenido de aire.

El comité ACI 211 nos brinda dos tablas para seleccionar el contenido de aire considerando el tamaño máximo nominal del agregado. La primera tabla solo considera el aire atrapado de manera accidental mientras que la segunda considera la cantidad de aire total (aire atrapado más aire incorporado) y el tipo de exposición en la que se encontrará el concreto.

Tabla 57:
Contenido de aire atrapado.

T.M.N. del agregado grueso	Aire atrapado (%)
3/8"	3.00
1/2"	2.50
3/4"	2.00
1"	1.50
1 1/2"	1.00
2"	0.50
3"	0.30
6"	0.20

Fuente (Rivva, Diseño de mezclas, 2010).

Tabla 58:
Contenido de aire total.

T.N.M. del agregado grueso	Relación agua/cemento en peso		
	Exposición Suave	Exposición Moderada	Exposición Severa
3/8"	4.50	6.00	7.50
1/2"	4.00	5.50	7.00
3/4"	3.50	5.00	6.50
1"	3.00	4.50	6.00
1 1/2"	2.50	4.00	5.50
2"	2.00	3.50	5.00
3"	1.50	3.00	4.50
6"	1.00	2.50	4.00

Fuente (Rivva, Diseño de mezclas, 2010).

La presente investigación no considerará la incorporación de aire mediante aditivos por lo que se considerará solo el aire atrapado de manera accidental. Para un tamaño máximo nominal de 1/2" se tendrá 2.5% de aire atrapado.

3.2.1.6 Selección de la relación agua/cemento.

El comité ACI 211 nos proporciona dos tablas para la elección de la relación agua/cemento. La primera considerará únicamente la resistencia y la segunda tomará en cuenta condiciones de durabilidad y exposición; se deberá elegir el menor valor si se consideran las dos tablas.

Tabla 59:
Relación agua/cemento por resistencia.

F'cr (kg/cm²)	Agua/cemento en peso	
	Sin aire incorporado	Con aire incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Fuente (Rivva, Diseño de mezclas, 2010).

Tabla 60:
Relación agua/cemento por durabilidad.

Condiciones de exposición	Agua/Cemento (agregado de peso normal)	Agua/Cemento (agregado de peso liviano)
Concreto de baja permeabilidad expuesto a agua dulce	0.50	260
Expuesto a agua de mar o aguas solubles	0.45	260
Expuesto a acción de agua cloacales	0.45	260
Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condiciones húmedas	0.45	300
Sardineles, cunetas, secciones delgadas	0.45	300
Otros cimientos	0.	300
Concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina, rocío de estas aguas	0.40	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa 35mm	0.45	300

La resistencia f'c no deberá ser menor de 245 kgf/cm² por razones de durabilidad.

Fuente (Rivva, Diseño de mezclas, 2010).

Debido a que esta es la mezcla de prueba base, se considerará una relación agua/cemento basada en resistencia. Para el F'cr=265 kgf/cm² obtenido en el primer paso, se tendrá una relación agua/cemento de 0.60, este resultado se calcula interpolando los valores de la tabla mostrada.

3.2.1.7 Cálculo del contenido de cemento.

Este valor será calculado dividiendo la relación agua/cemento entre el volumen de agua. Ambos son datos calculados anteriormente.

Considerando una relación agua/cemento de 0.60 y un volumen de agua de mezcla de 216 litros, se obtendrá un contenido de cemento de 360.60 kgf/m^3 .

3.2.1.8 Selección del contenido de agregado grueso.

El comité ACI 211 nos proporciona una tabla para calcular el contenido de agregado grueso tomando en cuenta el tamaño máximo nominal del agregado grueso y el módulo de fineza del agregado fino. El objetivo es encontrar un balance entre agregados que nos permita obtener un concreto trabajable para un concreto armado común.

Tabla 61:
Peso del agregado grueso por unidad de volumen.

T.M.N. del agregado grueso	Volumen de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diversos módulos de fineza del agregado fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente (Rivva, Diseño de mezclas, 2010).

Considerando un módulo de fineza de 2.33 y un tamaño máximo nominal de 1/2", se obtendrá un valor de 977.52 kgf.

3.2.1.9 Determinación de suma de volúmenes absolutos.

Se tomará en cuenta los datos obtenidos hasta el momento como la cantidad de cemento, agua de diseño, aire y agregado grueso. Con ayuda de sus pesos específicos y peso unitario seco compactado (en caso del agregado grueso) se determinará el volumen de los mismos para posteriormente sumarlos. Debemos obtener un resultado menor a la unidad.

Tabla 62:
Volúmenes absolutos secos sin agregado fino.

Componente	Unidades	Cantidad	Peso Específico	Volumen
Cemento	kgf/m ³	360.60	3050.00	0.12
Agua	l/m ³	216.00	1000.00	0.22
Aire	%	2.50	-	0.03
A. Grueso	kgf/m ³	977.52	2685.00	0.36
			Volumen T.	0.72

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.10 *Determinación del volumen absoluto del agregado fino.*

El comité ACI 211 calcula el volumen absoluto del agregado fino considerando la diferencia de la unidad y el volumen total calculado anteriormente (suma de volúmenes de cemento, agua, aire y agregado fino).

En la presente investigación, el agregado fino ocuparía un volumen de 0.28 m³.

3.2.1.11 *Determinación del peso seco del agregado fino.*

Este valor puede ser calculado al multiplicar el volumen de agregado fino 0.277 m³ por su peso específico 2685 kgf/m³, con lo cual se obtiene un peso de 671.56 kgf.

3.2.1.12 *Determinación de valores de diseño en seco.*

Elaboramos una tabla con los valores de diseño calculados anteriormente considerando sus pesos en estado seco.

Tabla 63:
Valores de diseño en seco.

Componente	Unidades	Cantidad
Cemento	kgf/m ³	360.60
Agua	l/m ³	216.00
A. Fino	kgf/m ³	671.56
A. Grueso	kgf/m ³	977.52

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.13 Corrección de valores de diseño por humedad del agregado.

Los agregados a utilizar no siempre se encuentran en estado seco por lo que es necesario realizar una corrección.

- Corrección del peso del agregado: Las cantidades de agregado pesado se incrementarán debido al porcentaje de agua que contienen.

$$W.A.C = \left(1 + \frac{\text{Cont. de humedad}}{100}\right) * \text{Peso seco de agregado} \quad (27)$$

- Corrección del volumen de agua: Deberá reducirse el agua de mezcla debido al volumen de agua que el agregado aporta.

$$A.A = \left(\frac{\text{Cont. de humedad} - \text{abs.}}{100}\right) * \text{Peso seco de agregado} \quad (28)$$

Estas ecuaciones deben ser aplicadas para el agregado fino y grueso.

En la presente investigación se obtuvo

Tabla 64:
Corrección del peso del agregado.

Componente	Cantidad	Unidades
Peso húmedo agregado fino	674.52	kgf/m ³
Peso húmedo agregado grueso	978.88	kgf/m ³

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65:
Corrección de volumen de agua.

Componente	Cantidad	Unidades
Agua libre agregado fino	-18.19	l
Agua libre agregado grueso	-6.88	l
Total	-25.07	l

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.14 Determinación de la proporción en peso.

Realizamos una tabla resumen de los datos obtenidos. Para hallar las proporciones en función a la cantidad de cemento se dividen todos los materiales entre el peso del cemento.

Tabla 66:
Proporciones finales en peso.

Componente	Unidades	Cantidad	Proporción
Cemento	Kgf	360.60	1.00
A. Fino Húmedo	Kgf	674.52	1.87
A. Grueso Húmedo	Kgf	980.88	2.72
Agua Añadida	Kgf	241.07	0.67

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.15 *Determinación de pesos por tanda de una bolsa.*

Para obtener los pesos por bolsa de cemento se multiplican las proporciones por el peso de una bolsa de cemento (42.5 kgf) obteniendo así.

Tabla 67:
Pesos por tanda de una bolsa.

Componente	Proporción	PPB
Cemento	1.00	42.50
A. Fino Húmedo	1.87	79.50
A. Grueso Húmedo	2.72	115.61
Agua Añadida	0.67	28.41

Fuente: Elaboración propia.

Estas dosificaciones fueron utilizadas como el diseño de mezcla base, no obstante, al realizar el ensayo de asentamiento en el concreto fresco, que es el principal parámetro a tomar en cuenta, los resultados no fueron los esperados por lo que se procede a hacer una corrección en el diseño, la cual será explicada a continuación.

3.2.2 **Diseño de mezcla corregido según el asentamiento para la misma relación agua/cemento.**

Se debe realizar una corrección de las cantidades de materiales conservando la relación agua/cemento para lo cual se siguió con el siguiente procedimiento (todas las variaciones se harán considerando cantidades por metro cubico las cuales se convertirán posteriormente según la cantidad de probetas a vaciar).

3.2.2.1 Cálculo de cantidad de agua.

Esta variará dependiendo el Slump de la primera prueba, aumentará si se tiene una consistencia seca (1" a 2" de Slump) o disminuirá si tiene una consistencia muy suelta (más de 5").

3.2.2.2 Cálculo de cantidad de cemento (C).

Será calculada tomando en cuenta la última variación de agua y la relación agua/cemento.

3.2.2.3 Cálculo del volumen de agregados (VA).

Será calculado restando el volumen de agua, cemento y aire de una unidad (este valor varía en cada corrección).

3.2.2.4 Se calcula el porcentaje de agregado fino y grueso (%AF y %AG).

Será calculado respecto al volumen de agregados (VA) (estos porcentajes se mantienen desde el diseño base).

3.2.2.5 Pesos de agregado por metro cúbico en estado fresco.

Serán calculados multiplicando el volumen de agregados (VA), porcentaje de agregado (%AF o %AG) y el peso específico del agregado que se esté calculando.

3.2.2.6 Corrección por humedad.

Se corrigen por humedad los pesos de los agregados y agua de mezcla.

Repetimos este proceso hasta que obtengamos el valor de asentamiento requerido.

3.2.3 Diseño de mezcla corregido para otras relaciones agua/cemento.

Para obtener las proporciones de materiales a utilizar en las siguientes relaciones agua/cemento (0.55, 0.50, 0.45, 0.40) se tendrá como base el diseño de mezclas corregido por Slump considerando una relación agua/cemento de 0.60, al cual se le llamará “diseño base”, a este se le harán algunas modificaciones explicadas a continuación.

3.2.3.1 *Cálculo de cantidad de agua.*

Se iniciará el proceso tomando en cuenta la cantidad de agua de mezcla utilizada en el diseño base.

Esta cantidad será corregida posteriormente según el Slump requerido.

3.2.3.2 *Cálculo de cantidad de cemento (C).*

Será calculada tomando en cuenta la última variación de agua y la relación agua/cemento.

3.2.3.3 *Cálculo del volumen de agregados (VA).*

Se iniciará el proceso tomando en cuenta los volúmenes de agregados del diseño base.

Este volumen posteriormente será calculado restando el volumen de agua, cemento y aire de una unidad (este valor varía en cada corrección).

3.2.3.4 *Se calcula el porcentaje de agregado fino y grueso (%AF y %AG).*

Será calculado respecto al volumen de agregados (VA) a diferencia del diseño base, estos porcentajes variarán a lo largo del proceso.

3.2.3.5 Pesos de agregado por metro cúbico en estado seco.

El peso de agregado fino por metro cúbico se calculará multiplicando el volumen de agregados (VA), porcentaje de agregado (%AF) y el peso específico correspondiente para luego restarle una cantidad de agregado fino igual al peso de cemento que se aumentó debido a la corrección de agua.

El peso de agregado grueso por metro cúbico será calculado multiplicando el volumen de agregados (VA), porcentaje de agregado (%AG) y el peso específico correspondiente.

3.2.3.6 Corrección por humedad.

Se corrigen por humedad los pesos de los agregados y agua de mezcla.

Repetimos este proceso hasta que obtengamos el valor de asentamiento requerido.

Conforme la relación agua/cemento disminuya, la mezcla solicitará una mayor cantidad de agua y por ende una mayor cantidad de cemento. A partir de la relación agua/cemento 0.55 y en adelante, se debe tener en consideración un aumento de agua progresivo, este no debe ser una cantidad considerable, puesto que esto generaría un concreto pastoso (debido al exceso de cemento) y por lo tanto poco económico. Una solución es reducir la cantidad de agregado fino una cantidad igual al peso de cemento que se agregó debido al incremento de agua, de esta forma el incremento del cemento se compensa y se tiene una mejor consistencia.

3.3 Ensayos preliminares

Previo al vaciado oficial, se realizaron vaciados de prueba que tenían como objetivo encontrar las dosificaciones necesarias para conseguir un Slump deseado.

Se realizó el siguiente procedimiento para cada relación agua/cemento:

- Se calcularon las cantidades de materiales necesarios para obtener el volumen de cuatro probetas cilíndricas de 15cmx30cm y se elabora la mezcla de concreto en un trompo de 3 1/2 pie³ de capacidad.
- Se realiza el ensayo de asentamiento, en caso este no se encuentre en el rango de 3" a 4" se recalculan las cantidades de materiales de la forma explicada anteriormente considerando una probeta cilíndrica de 15cmx30cm más (o sea el volumen de cinco probetas) y se agrega la diferencia de materiales en la mezcla ya elaborada.
- El proceso se repite incrementando el volumen de una probeta cilíndrica de 15cmx30cm por cada corrección que se haga hasta llegar al Slump requerido.
- Las mezclas elaboradas de esta forma no podrán ser tomadas como un vaciado oficial debido a la variabilidad de sus propiedades por el tiempo de mezcla considerable.

3.3.1 Dosificaciones oficiales

A continuación, se presentarán tablas con las cantidades utilizadas en cada vaciado.

Las tablas constan de tres partes: la primera parte muestra cantidades secas expresadas en kg/m^3 , la segunda parte cantidades húmedas expresadas en kg/m^3 y por último la tercera parte cantidades húmedas utilizadas para el vaciado de 21 probetas de 10cm x 20 cm, las cuales están expresada en kilos.

Se mostrarán tres tablas, una tabla por cada cemento utilizado (I, IP y HS). Cada tabla contiene datos para cada relación agua/cemento considerado (0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60).

Tabla 68:
Dosificaciones oficiales cemento tipo I.

Dosificaciones oficiales cemento tipo I.						
Material	Unidad	Cemento tipo I				
		0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
Dosificación en seco						
Cemento	kgf	323.33	353.64	390.00	434.44	498.75
A. Fino	kgf	707.38	666.13	616.75	556.52	465.92
A. Grueso	kgf	1029.78	1047.38	1068.66	1094.83	1127.70
Agua	L	194.00	194.50	195.00	195.50	199.50
Nanosílice	%	-	-	-	-	-
	gf	-	-	-	-	-
Dosificación corregida por humedad						
Cemento	kgf	323.33	353.64	390.00	434.44	498.75
A. Fino	kgf	712.22	668.54	619.48	558.98	468.13
A. Grueso	kgf	1030.60	1048.43	1069.73	1095.93	1130.10
Agua	L	221.41	223.00	221.83	220.95	221.38
Nanosílice	%	-	-	-	-	-
	gf	-	-	-	-	-
Dosificación por tanda de 21 probetas de 10 cm x 20 cm						
Cemento	kgf	13.58	14.85	16.38	18.25	20.95
A. Fino	kgf	29.91	28.08	26.01	23.48	19.66
A. Grueso	kgf	43.28	44.03	44.93	46.03	47.46
Agua	L	9.30	9.37	9.32	9.28	9.30
Nanosílice	%	-	-	-	-	-
	gf	-	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69:
Dosificaciones oficiales cemento tipo IP.

Dosificación para cemento tipo II :						
Material	Unidad	Cemento tipo IP				
		0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
Dosificación en seco						
Cemento	kgf	341.67	376.36	422.00	468.89	527.50
A. Fino	kgf	681.31	631.77	565.15	501.02	420.86
A. Grueso	kgf	991.83	1008.58	1028.54	1055.32	1088.78
Agua	L	205.00	207.00	211.00	211.00	211.00
Nanosílice	%	-	-	-	0.50	0.60
	gf	-	-	-	98.47	132.93
Dosificación corregida por humedad						
Cemento	kgf	341.67	376.36	422.00	468.89	527.50
A. Fino	kgf	684.54	633.77	566.94	503.23	422.72
A. Grueso	kgf	993.94	1011.76	1031.78	1058.88	1092.45
Agua	L	231.51	232.29	234.54	232.08	230.14
Nanosílice	%	-	-	-	0.50	0.60
	gf	-	-	-	98.47	132.93
Dosificación por tanda de 21 probetas de 10 cm x 20 cm						
Cemento	kgf	14.35	15.81	17.72	19.69	22.16
A. Fino	kgf	28.75	26.62	23.81	21.14	17.75
A. Grueso	kgf	41.75	42.49	43.33	44.47	45.88
Agua	L	9.72	9.76	9.85	9.75	9.67
Nanosílice	%	-	-	-	0.50	0.60
	gf	-	-	-	98.47	132.93

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70:
Dosificaciones oficiales cemento tipo HS.

Dosificación para Cemento tipo HS.						
Material	Unidad	Cemento tipo HS				
		0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
Dosificación en seco						
Cemento	kgf	341.67	375.45	421.00	467.78	526.25
A. Fino	kgf	676.26	627.99	560.83	496.16	415.32
A. Grueso	kgf	984.49	1000.76	1019.68	1045.39	1077.53
Agua	L	205.00	206.50	210.50	210.50	210.50
Nanosílice	%	-	-	-	0.50	0.60
	gf	-	-	-	98.23	132.62
Dosificación corregida por humedad						
Cemento	kgf	341.67	375.45	421.00	467.78	526.25
A. Fino	kgf	679.24	630.76	563.30	498.35	417.15
A. Grueso	kgf	987.81	1004.13	1023.12	1048.91	1081.16
Agua	L	230.32	230.63	232.94	231.37	229.41
Nanosílice	%	-	-	-	0.50	0.60
	gf	-	-	-	98.23	132.62
Dosificación por tanda de 21 probetas de 10 cm x 20 cm						
Cemento	kgf	14.35	15.77	17.68	19.65	22.10
A. Fino	kgf	28.53	26.49	23.66	20.93	17.52
A. Grueso	kgf	41.49	42.17	42.97	44.05	45.41
Agua	L	9.67	9.69	9.78	9.72	9.64
Nanosílice	%	-	-	-	0.50	0.60
	gf	-	-	-	98.23	132.62

Fuente: Elaboración propia.

3.4 Ensayos definitivos

Se realizan considerando las dosificaciones oficiales obtenidas de los ensayos preliminares.

3.4.1 Ensayos en estado fresco

3.4.1.1 Ensayo para calcular el asentamiento o Slump.

Este ensayo tiene como objetivo medir la consistencia del concreto en estado fresco, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 339.035 (2015).

Equipos y materiales

- Molde metálico con forma de tronco cónico, este debe estar provisto de agarraderas para manos y piezas de soporte para pies. Se pueden encontrar más especificaciones en la norma NTP 339.035 – 2015.
- Varilla de acero liso utilizada para la compactación del concreto, debe tener un diámetro de 16 mm y bordes redondeados.
- Cinta métrica o regla graduada cada 5 mm o longitudes menores.
- Cucharon.
- Bandeja del tamaño necesario que permita elaborar el ensayo sin restricciones.

Procedimiento

- Humedecer el molde, la varilla lisa y la bandeja, escurrir el agua en exceso.
- Colocar el molde cónico sobre la bandeja (el diámetro mayor en la base) y sujetarlo con los pies con ayuda de los soportes o aletas.
- Llenar el molde metálico en tres capas. Cada capa representará un tercio del volumen del cono.

- Después de cada tercio llenado se deberá apisonar con la varilla lisa 25 veces de manera espiral hacia el centro de la sección. La barra deberá penetrar en la capa inferior una altura de 25 mm aproximadamente.
- Para la última capa, el molde se llenará hasta hacer que el material rebose, después del compactado, se deberá tener material en exceso en la parte superior, el cual será retirado rodando la varilla lisa con el fin de enrasar la superficie.
- Levantar el molde en un tiempo de 5s +/- 2s.
- Medir la diferencia de altura entre la altura del molde y la parte central de la mezcla de concreto.

3.4.1.2 Ensayo para calcular el peso unitario.

Este ensayo tiene como objetivo medir la densidad del concreto en estado fresco, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 339.046 (2008) (revisada el 2018).

Equipos y materiales

- Balanza con aproximación a 0.5 gf.
- Varilla de acero liso utilizada para el apisonado, debe tener un diámetro de 16 mm y bordes redondeados.
- Recipiente metálico de forma cilíndrica, en la norma NTP 339.046 – 2008 sugiere una capacidad de 2/10 pie³.
- Placa de alisado o enrasador.
- Martillo de goma.
- Cucharones.
- Bandejas.

Procedimiento

- Humedecer el molde y la varilla lisa, escurrir el agua en exceso.
- Llenar el molde metálico en tres capas. Cada capa representará un tercio del volumen del recipiente metálico.
- Después de cada tercio llenado se deberá apisonar con la varilla lisa 25 veces de manera espiral hacia el centro de la sección. La barra deberá penetrar en la capa inferior una altura de 25 mm aproximadamente.
- Después de cada capa apisonada, golpear los lados del recipiente con ayuda del martillo de goma de 10 a 15 veces hasta cerrar los poros producidos por la varilla.
- Para la última capa, el molde se llenará hasta hacer que el material rebose, pero no de forma sustancial, después del compactado, se deberá tener material en exceso en la parte superior (3 mm aproximadamente), el cual será retirado con ayuda de la placa plana o enrasador.
- Limpiar el hormigón en exceso de las paredes externas del molde.
- Pesar.

Cálculos

- Calcular el volumen del recipiente basándose en el promedio de tres mediciones sucesivas de diámetro “D” y altura “H”.

$$V = \pi * \frac{D^2}{4} * H \quad (29)$$

- Determinar el peso unitario en gf/cm^3 .

$$P. U. = \frac{\text{Peso del concreto}}{V} \quad (30)$$

3.4.1.3 Ensayo para calcular la temperatura.

Este ensayo tiene como objetivo medir la temperatura del concreto en estado fresco, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 339.184 (2013) (revisada el 2018).

Equipos y materiales

- Dispositivo para medir la temperatura con una exactitud de ± 0.5 °C.

Procedimiento

- Introducir el dispositivo de medida 75 mm como mínimo y verificar que toda la superficie de medida esté cubierta por la mezcla.
- Dejar el dispositivo introducido en la mezcla de dos a cinco minutos.
- Registrar la lectura.

3.4.2 Ensayos en concreto endurecido

3.4.2.1 Ensayo de permeabilidad.

Este ensayo tiene como objetivo medir el coeficiente de permeabilidad del concreto al agua, en estado endurecido, ya que la norma técnica peruana no cuenta con este ensayo, se tomará como referencia la propuesta de norma técnica encontrada en los anexos del presente documento.

Equipos y materiales

- Equipo de ensayo que introduzca agua a presión controlada a testigos de concreto.
- Máquina de compresión de testigos de concreto.
- Balanza con sensibilidad de 0.5 gf.
- Vernier.
- Cepillo metálico.

- Horno capaz de mantener una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Procedimiento

- Secar los testigos de concreto en horno mínimo 24 horas.
- Determinar dimensiones y masa de los testigos de concreto en estado seco.
- Retirar la capa superficial de mortero o cemento de la zona en la cual se aplicará el agua a presión. El proceso se realizará raspando dicha zona con un cepillo metálico.
- Colocar los testigos en la máquina y sujetarlos de tal forma que se eviten fugas en los puntos de salida de agua a presión.
- Aplicar agua a una presión de 1MPa de manera ininterrumpida durante 96 horas.
- Dividir los testigos de concreto según lo mencionado en la norma NTP 339.084 - 2012.
- Dibujar el borde de la zona en la que penetró el agua.
- Medir la longitud de la base y altura máxima de la zona en la que penetró el agua.
- Tomar una fotografía de las mitades de cada testigo de concreto.

Cálculos

- La fotografía será escalada en un programa digital con el fin de calcular el área y la longitud de la base de la zona húmeda.
- Cálculo de la profundidad media (e).

$$e = \frac{\text{área de la zona húmeda}}{\text{longitud de la base de la zona húmeda}} \quad (31)$$

- Cálculo del coeficiente de permeabilidad.

$$K = \frac{e^2 v}{2ht} \quad (32)$$

En la cual

e Profundidad de penetración de agua media (m).

h Presión aplicada (101.97 m.c.a).

t Tiempo de duración del ensayo (345600 segundos).

v Porosidad calculada según la NTP 339.187.

3.4.2.2 Ensayo de resistencia a la compresión axial.

Este ensayo tiene como objetivo medir la resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 339.034 (2015).

Equipos y materiales

- Máquina de compresión que cumpla con las especificaciones de la norma NTP 339.034 – 2015.
- Vernier.

Procedimiento

- Los testigos de concreto serán ensayados en estado húmedo.
- Secar superficialmente el testigo de concreto para poder medir el diámetro en dos espacios perpendiculares de la probeta.
- Colocar las probetas en la máquina, estas deberán estar alineadas de tal manera que la carga aplicada por la máquina compresora se distribuya uniformemente en la cara superior del testigo de concreto.

Cálculos

- El cálculo de la resistencia a la compresión axial (kgf/cm^2) se obtiene dividiendo la carga máxima proporcionada por la máquina de compresión entre el área promedio de la sección transversal del espécimen.

3.4.2.3 Ensayo de resistencia a la compresión diametral o tracción.

Este ensayo tiene como objetivo medir la resistencia a la tracción simple del concreto en estado endurecido, para lo cual se consideró lo propuesto en la norma NTP 339.084 (2012) (revisada el 2017).

Equipos y materiales

- Máquina de compresión que cumpla con las especificaciones de la norma NTP 339.034 – 2015.
- Listones de apoyo de madera contrachapada.
- Vernier.

Procedimiento

- Los testigos de concreto serán ensayados en estado húmedo.
- Secar superficialmente el testigo de concreto.
- Dibujar líneas diametrales en cada extremo del testigo.
- Tomar tres medidas de diámetro, en los extremos y al centro de la probeta.
El promedio de estos valores será denominado “D”.
- Tomar dos medidas de la longitud de las líneas diametrales dibujadas. El promedio de estos valores será denominado “L”
- Colocar las probetas en la máquina, estas deberán estar alineadas de tal manera que la carga aplicada por la máquina compresora se distribuya uniformemente en la parte longitudinal del testigo de concreto.

Cálculos

- Se calcula la resistencia a la tracción con la siguiente fórmula.

$$T = \frac{2P}{\pi LD} \quad (33)$$

En la cual “P” es el valor de la carga máxima proporcionada por la máquina de compresión.

3.5 Capacitación del personal del laboratorio.

Se realizó la capacitación del personal del laboratorio y docente encargado de las prácticas del curso de Tecnología del concreto Yuri Romero Ortiz y José Germán Loayza Rodríguez el día 26/07/2018 a las 11:30 a.m. Dicha capacitación consistió en los siguientes procedimientos.

- Charla introductoria: Se brindó la exposición de algunos conceptos básicos referidos a la durabilidad y permeabilidad del concreto, se comentó acerca de la normativa técnica peruana y se dio la explicación teórica del ensayo de permeabilidad al agua basándose en la propuesta de norma técnica y la guía de permeabilidad del concreto elaborados en la presente investigación.
- Explicación Práctica: Se realizó el siguiente procedimiento.
 - Preparación de probetas previas al ensayo de permeabilidad: Se indicó a los asistentes cómo se debe realizar un raspado o escarificado de la zona que estará en contacto con el agua a presión.
 - Instalación de probetas en la máquina de permeabilidad: Se indicó a los asistentes cómo deberá ser posicionado y ajustado el espécimen de concreto considerando el uso de los soportes metálicos, tornillos y pernos.

- Manejo del equipo: Se indicó a los asistentes el procedimiento de utilización del equipo de permeabilidad de concreto al agua basándose en la guía de permeabilidad expuesta anteriormente.

Las fotos de la capacitación se encontrarán en los anexos del presente documento.



CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Propiedades de los materiales

4.1.1 Agregados.

4.1.1.1 Agregado grueso.

- Según la granulometría obtenida, el agregado grueso se encuentra en su mayoría dentro de los límites establecidos en la norma NTP400.012 – 2013, por lo que se puede afirmar que tendrá un buen comportamiento en las mezclas de concreto.
- Se obtuvo un peso unitario suelto y compactado de 1508.61 kgf/m^3 y 1637.38 kgf/m^3 , respectivamente.
- Se obtuvo un peso específico de 2.69 gf/cm^3 .
- Se obtuvo una absorción y contenido de humedad promedio de 1.05% y 0.34%, respectivamente, datos que serán tomados en cuenta para la corrección de la mezcla por humedad de agregados.

4.1.1.2 Agregado fino.

- Según la granulometría obtenida, el agregado fino cumple con los límites establecidos en la norma NTP 400.012 – 2013, por lo que se afirma que tendrá un buen comportamiento en las mezclas de concreto.
- Se obtuvo un módulo de fineza de 2.33 el cual indica que el agregado fino contiene partículas de un tamaño aceptable e idóneo para la mezcla de concreto.
- Se obtuvo un peso unitario suelto y compactado de 1412.94 kgf/m^3 y 1611.15 kgf/m^3 , respectivamente.

- Se obtuvo un peso específico de 2.43 gf/cm^3 .
- Se obtuvo una absorción y un contenido de humedad promedio de 3.15% y 0.44%, respectivamente, datos que serán tomados en cuenta para la corrección de la mezcla por humedad de agregados.

4.1.2 Cementos.

- Se obtuvo un peso específico de 3.05 gf/cm^3 en el cemento tipo I, el cual se encuentra dentro de los límites proporcionados en la hoja técnica.
- Se tiene un peso específico de 2.80 gf/cm^3 en el cemento tipo IP, el cual se encuentra dentro de los límites proporcionados en la hoja técnica.
- Se obtuvo un peso específico de 2.74 gf/cm^3 en el cemento tipo HS, el cual se encuentra dentro de los límites proporcionados en la hoja técnica.

4.1.3 Aditivos.

- Este aditivo modificó el comportamiento del concreto de la siguiente forma:
 - Proporcionó fluidez a la mezcla en estado fresco.
 - Incrementó la resistencia a la compresión y tracción en edades tempranas.

4.2 Propiedades del concreto en estado fresco.

4.2.1 Asentamiento o Slump.

Tabla 71:

Asentamiento de las mezclas de concreto.

Tipo de cemento	Relación agua/cemento	Slump (plg)
Tipo I	0.60	4.00
	0.55	4.00
	0.50	4.50
	0.45	4.25
	0.40	3.50
Tipo IP	0.60	4.00
	0.55	4.25
	0.50	3.75
	0.45	5.00
	0.40	5.00
Tipo HS	0.60	4.50
	0.55	4.25
	0.50	4.50
	0.45	4.50
	0.40	4.50

Fuente: Elaboración propia.

Ya que el revenimiento es un parámetro que será controlado mediante las correcciones explicadas en acápite 3.2 del presente documento, se ve conveniente obtener asentamientos de 3.5” a 5” que nos proporcionarán una buena consistencia y trabajabilidad del concreto en estado fresco.

4.2.2 Peso unitario.

Tabla 72:

Datos del molde de peso unitario.

Datos del molde	
Diámetro del molde (cm)	20.50
Altura del molde (cm)	21.82
Volumen del molde (cm ³)	7200.89
Peso del molde (gf)	2450.00

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se mostrarán tablas y gráficos de los resultados de peso unitario obtenidos para cada cemento, las cuales serán posteriormente explicadas.

Tabla 73:

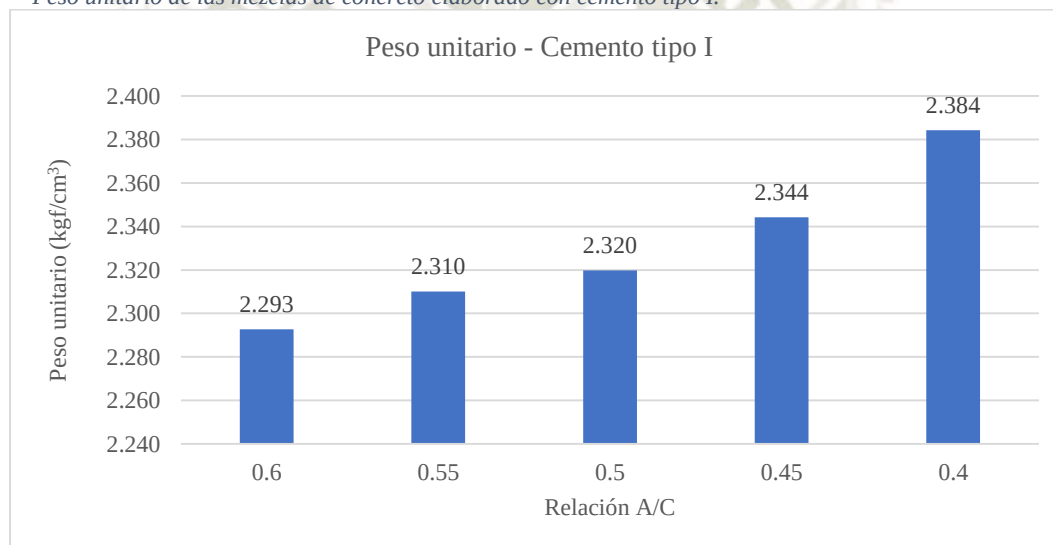
Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.

Tipo de cemento	Relación agua/cemento	Peso del concreto contenido en el molde (gf)	Peso unitario (gf/cm ³)
Tipo I	0.60	16510.0	2.293
	0.55	16635.0	2.310
	0.50	16705.0	2.320
	0.45	16880.0	2.344
	0.40	17168.6	2.384

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 9:

Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 74:

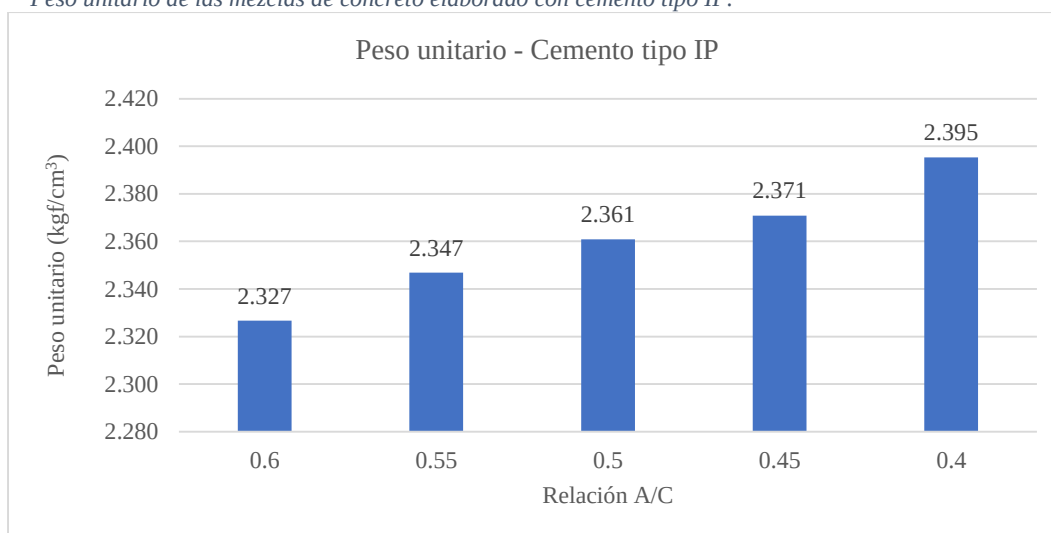
Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.

Tipo de cemento	Relación agua/cemento	Peso del concreto contenido en el molde (gf)	Peso unitario (gf/cm ³)
Tipo IP	0.60	16753.8	2.327
	0.55	16899.5	2.347
	0.50	16999.9	2.361
	0.45	17072.4	2.371
	0.40	17248.5	2.395

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 10:

Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75:

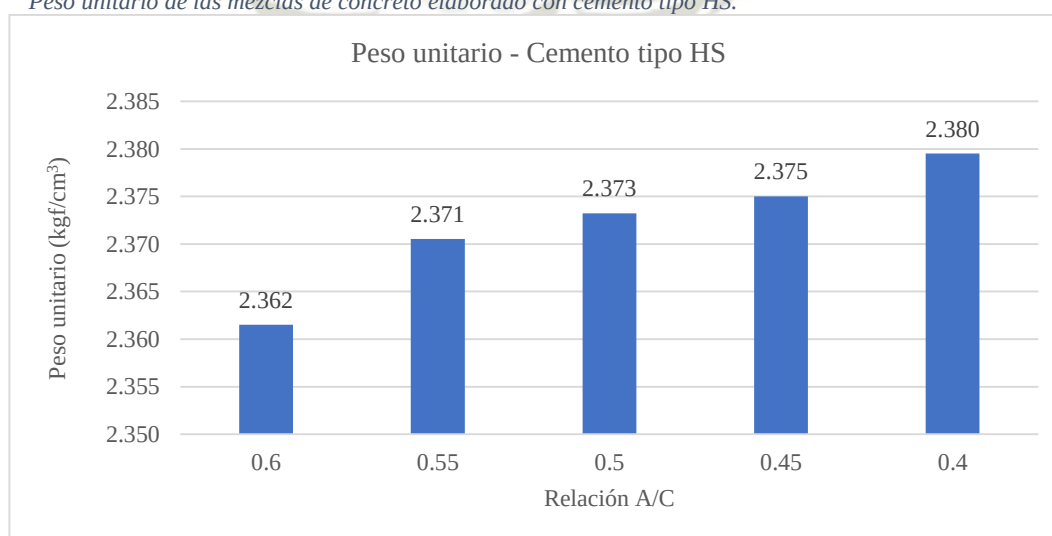
Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.

Tipo de cemento	Relación agua/cemento	Peso del concreto en el molde (gf)	Peso unitario (gf/cm ³)
Tipo HS	0.60	17005.1	2.362
	0.55	17069.8	2.371
	0.50	17089.2	2.373
	0.45	17102.2	2.375
	0.40	17134.6	2.380

Fuente: Elaboración propia.

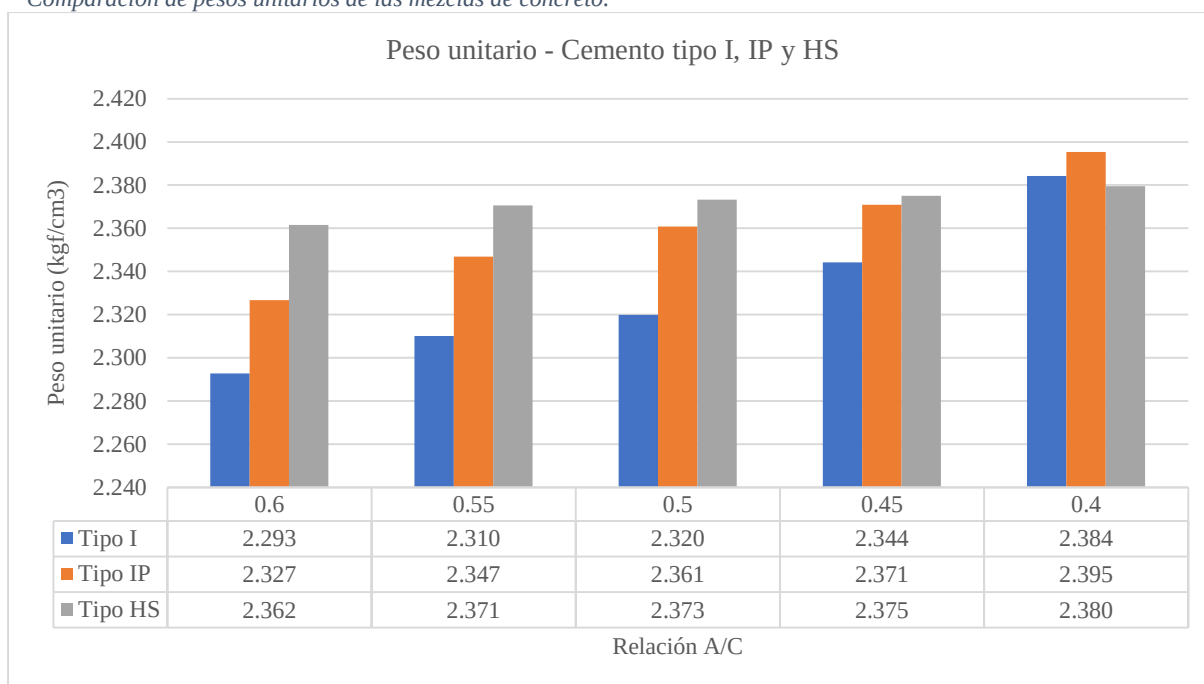
Ilustración 11:

Peso unitario de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 12:
Comparación de pesos unitarios de las mezclas de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

Para todos los cementos utilizados, se obtuvo un incremento del peso unitario de forma progresiva dependiendo de la relación agua/cemento considerada en la mezcla. Esto indica que mientras menor sea dicha relación se obtendrá un concreto más pesado, lo cual se debe a que las mezclas de concreto con bajas relaciones agua/cemento contienen una mayor cantidad de cemento y de agregado grueso.

Los concretos elaborados con cementos tipo IP y HS tienden a ser más pesados debido a que los componentes presentes en estos cementos, entre ellos la puzolana, solicitan una mayor dosis de agua, la cual produce un incremento de las cantidades de los demás componentes de la mezcla.

El incremento del peso unitario según la variación de la relación agua/cemento dependerá del tipo de cemento. Se obtuvo que las mezclas de elaboradas con cemento tipo HS no tienen un incremento significativo a comparación de las mezclas elaboradas con cemento tipo I y IP.

4.2.3 Temperatura

Tabla 76:
Temperatura de las mezclas de concreto.

Tipo de cemento	Relación agua/cemento	Temperatura °C
Tipo I	0.60	21.5
	0.55	20.9
	0.50	21.0
	0.45	22.6
	0.40	19.5
Tipo IP	0.60	20.1
	0.55	19.0
	0.50	20.4
	0.45	17.6
	0.40	19.0
Tipo HS	0.60	16.0
	0.55	16.6
	0.50	18.5
	0.45	16.4
	0.40	17.6

Fuente: Elaboración propia.

Para el cemento tipo I se obtuvieron temperaturas en el rango de 19.5°C a 22.6°C. Vaciados realizados en el mes de marzo (temperaturas cálidas).

Para el cemento tipo IP se obtuvieron temperaturas en el rango de 17.6°C a 20.4°C. Vaciados realizados en el mes de abril (temperaturas medias).

Para el cemento tipo HS se obtuvieron temperaturas en el rango de 16.0°C a 18.5°C. Vaciados realizados en el mes de mayo (temperaturas bajas).

La temperatura del concreto en estado fresco dependerá de la temperatura del agua de mezcla y del tipo de cemento utilizado.

Lo óptimo sería elaborar las distintas mezclas de concreto con la misma temperatura de agua de mezcla para poder realizar una comparación entre la variación de temperatura obtenida.

4.3 Propiedades del concreto en estado endurecido.

4.3.1 Permeabilidad.

Se ensayó 3 probetas cilíndricas de 150mm x 300mm de una edad de 28 días para relaciones agua/cemento 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40 considerando el uso de cemento tipo IP y HS, lo cual arrojó un total de 30 probetas.

Se ensayó 3 probetas cilíndricas de 150mm x 300mm de una edad de 28 días para la relación agua/cemento 0.40 considerando el uso de cemento tipo I.

La investigación “INFLUENCIA DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO” nos proporcionará los datos de 3 probetas cilíndricas de 150mm x 300mm de una edad de 28 días para relaciones agua/cemento 0.60, 0.55, 0.50, 0.45 que consideró el uso de cemento tipo I, lo cual arrojó un total de 12 probetas.

Para la presente investigación se consideró los datos de 45 probetas en total.

Se consideró el procedimiento descrito en la propuesta de norma técnica encontrada en los anexos del presente documento.

Para todos los ensayos realizados se tomaron en consideración los siguientes datos.

Tabla 77:
Datos generales para el ensayo de permeabilidad.

Datos del ensayo	
Tiempo de ensayo (s)	345600
Presión (m.c.a)	101.97

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la porosidad y de la permeabilidad se tomará en cuenta el promedio de dos datos proporcionados como mínimo.

A continuación, se presentarán tablas con los valores de porosidad y permeabilidad obtenidos con las formulas proporcionadas anteriormente. Se proporcionarán tablas por cada relación agua/cemento (0.40, 0.45, 0.50, 0.55 y 0.60) y para cada cemento utilizado (I, IP y HS), las cuales serán explicadas posteriormente.

4.3.1.1 Cemento tipo I.

- Para una relación agua/cemento de 0.60.

Tabla 78:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo I.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1180.10	1279.20	729.00	18.006
2	1189.50	1284.20	730.00	17.091
3	1106.40	1190.20	681.00	16.465
Porosidad (%)				16.778

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79:

Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo I.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	5.66	11.62	44.34	3.816	0.003906	3.632E-12
1 – D	5.59	11.24	44.92	3.996		
2 – I	6.02	14.00	54.40	3.886	0.003740	3.331E-12
2 – D	5.81	14.40	51.77	3.595		
3 – I	5.08	12.71	45.86	3.608	0.003608	3.499E-12
3 – D	5.24	10.89	44.22	4.061		
					Permeabilidad (m/s)	3.566E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.55.

Tabla 80:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo I.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1217.4	1307.2	747	16.030
2	1218.3	1300.9	746	14.895
3	1180.3	1255.9	727	14.298
Porosidad (%)				14.596

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo I.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	5.78	13.03	53.07	4.073	0.004107	3.494E-12
1 – D	5.88	13.06	54.09	4.142		
2 – I	5.45	14.85	56.90	3.832	0.003898	3.147E-12
2 – D	5.35	12.06	47.82	3.965		
3 – I	5.34	14.24	52.48	3.685	0.003795	2.983E-12
3 – D	5.28	12.48	12.48	3.905		
Permeabilidad (m/s)						3.208E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.50.

Tabla 82:
Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo I.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1304.0	1382.8	797	13.455
2	1310.4	1380.1	797	11.957
3	1288.8	1356.5	788	11.912
Porosidad (%)				11.934

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 83:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo I.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	5.64	13.50	49.14	3.640	0.003809	2.457E-12
1 – D	5.87	13.70	54.50	3.978		
2 – I	4.24	13.85	35.36	2.553	0.002582	1.129E-12
2 – D	4.30	13.60	35.51	2.611		
3 – I	5.91	14.51	59.76	4.119	0.003938	2.626E-12
3 – D	5.48	14.80	55.61	3.757		
Permeabilidad (m/s)						2.541E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.45.

Tabla 84:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo I.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1322.2	1392.0	803	11.849
2	1318.5	1378.7	801	10.415
3	1299.0	1355.0	792	9.947
			Porosidad (%)	10.181

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 85:

Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo I.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm ²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	5.62	12.81	48.60	3.794	0.003718	1.997E-12
1 – D	5.40	14.18	51.64	3.642		
2 – I	5.95	14.90	57.06	3.830	0.003786	2.071E-12
2 – D	5.94	14.86	55.62	3.743		
3 – I	5.00	13.40	45.35	3.384	0.003477	1.747E-12
3 – D	5.14	13.15	46.95	3.570		
					Permeabilidad (m/s)	2.034E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.40.

Tabla 86:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo I.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	942.0	991.0	585	12.069
2	921.0	965.0	569	11.111
3	924.0	964.0	569	10.127
4	1045.0	1084.0	642	8.824
			Porosidad (%)	9.475

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 87:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo I.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	5.41	12.60	62.59	4.967	0.005431	3.965E-12
1 – D	5.78	12.70	74.85	5.894		
2 – I	3.23	12.85	33.51	2.608	0.002395	7.714E-13
2 – D	2.09	11.14	24.32	2.183		
3 – I	3.82	12.05	43.66	3.623	0.004079	2.236E-12
3 – D	4.23	12.60	57.13	4.534		
					Permeabilidad (m/s)	1.504E-12

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.2 Cemento tipo IP.

- Para una relación agua/cemento de 0.60.

Tabla 88:
Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo IP.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1783.0	1880.0	1063	11.873
2	1856.5	1960.0	1117	12.278
3	1718.0	1831.0	1038	14.250
4	1736.0	1823.0	1096	11.967
Porosidad (%)				13.264

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 89:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo IP.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	6.91	14.30	74.22	5.190	0.004887	4.494E-12
1 – D	6.42	13.48	61.79	4.584		
2 – I	5.90	14.00	62.81	4.486	0.004405	3.651E-12
2 – D	5.54	13.98	60.43	4.323		
3 – I	8.45	14.30	95.94	6.709	0.006356	7.602E-12
3 – D	7.93	14.97	89.86	6.003		
Permeabilidad (m/s)						4.073E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.55.

Tabla 90:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo IP.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1791.0	1897.0	1078	12.943
2	1917.0	2029.0	1166	12.978
3	1791.0	1880.0	1063	10.894
4	1840.0	1925.0	1099	10.291
Porosidad (%)				12.960

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 91:

Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo IP.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	4.50	15.26	49.54	3.246	0.003735	2.561E-12
1 – D	4.15	14.64	61.79	4.221		
2 – I	6.15	15.17	75.29	4.963	0.004915	4.442E-12
2 – D	6.04	15.06	73.29	4.867		
3 – I	5.43	14.93	68.23	4.570	0.004755	4.158E-12
3 – D	5.77	16.28	80.44	4.941		
					Permeabilidad (m/s)	3.361E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.50.

Tabla 92:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo IP.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1922.0	2039.0	1154	13.220
2	1895.0	2009.0	1145	13.194
3	1894.0	1995.0	1128	11.649
4	2023.0	2125.0	1211	11.160
Porosidad (%)				12.688

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 93:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo IP.

Permeabilidad del concreto elaborado con relación arc 0.50 y cemento tipo II.						
Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	2.87	15.06	35.05	2.327	0.002176	8.522E-13
1 – D	2.70	14.91	30.18	2.024		
2 – I	5.38	15.11	54.06	3.578	0.003521	2.232E-12
2 – D	5.32	16.10	55.70	3.464		
3 – I	5.06	15.22	59.86	3.933	0.003940	2.794E-12
3 – D	4.72	14.40	56.83	3.947		
Permeabilidad (m/s)						2.513E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.45.

Tabla 94:
Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo IP.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1887.0	1998.0	1134	12.847
2	1871.0	1968.0	1125	11.507
3	1811.0	1923.0	1090	13.445
4	1824.0	1926.0	1096	12.289
Porosidad (%)				12.214

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo IP.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	5.08	14.10	50.07	3.551	0.003340	1.933E-12
1 – D	5.06	13.84	43.30	3.129		
2 – I	4.21	14.44	44.82	3.104	0.003342	1.935E-12
2 – D	5.08	13.82	49.47	3.580		
3 – I	5.10	14.06	53.22	3.785	0.003541	2.173E-12
3 – D	4.64	13.18	43.46	3.297		
Permeabilidad (m/s)						1.934E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.40.

Tabla 96:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo IP.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1846.0	1940.0	1106	11.271
2	1819.0	1904.0	1091	10.455
3	1853.0	1951.0	1113	11.695
4	1890.0	1981.0	1140	10.820
Porosidad (%)				10.638

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97:

Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo IP.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	7.72	12.59	70.60	5.608	0.005393	4.390E-12
1 – D	7.74	12.65	65.51	5.179		
2 – I	3.45	15.00	40.50	2.700	0.002741	1.134E-12
2 – D	3.76	15.21	43.15	2.782		
3 – I	3.58	14.13	41.92	2.967	0.002847	1.223E-12
3 – D	3.59	12.84	35.01	2.727		
Permeabilidad (m/s)						1.179E-12

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.3 Cemento tipo HS.

- Para una relación agua/cemento de 0.60.

Tabla 98:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo HS.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1809.5	1941.0	1102	15.673
2	1941.0	2067.0	1182	14.237
3	1777.5	1917.0	1081	16.687
4	1907.5	2037.0	1154	14.666
Porosidad (%)				14.452

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 99:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo HS.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	9.43	15.26	136.21	8.926	0.008799	1.587E-11
1 – D	9.16	14.69	127.38	8.671		
2 – I	6.71	15.27	84.77	5.551	0.005415	6.012E-12
2 – D	5.90	14.79	78.06	5.278		
3 – I	5.77	15.22	74.04	4.865	0.004701	4.532E-12
3 – D	5.60	14.73	66.84	4.538		
Permeabilidad (m/s)						5.272E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.55.

Tabla 100:
Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo HS.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1891.0	2008.0	1149	13.620
2	1950.0	2062.0	1189	12.829
3	1761.5	1872.0	1067	13.727
4	1919.5	2034.0	1154	13.011
Porosidad (%)				12.920

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 101:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo HS.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	5.60	15.21	74.18	4.877	0.005004	4.590E-12
1 – D	5.78	14.76	75.73	5.131		
2 – I	8.43	15.21	95.78	6.297	0.006151	6.936E-12
2 – D	7.76	14.65	87.97	6.005		
3 – I	6.72	15.23	81.79	5.370	0.005225	5.004E-12
3 – D	6.22	15.39	78.17	5.079		
Permeabilidad (m/s)						4.797E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.50.

Tabla 102:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo HS.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1937.5	2010.0	1148	8.411
2	1966.0	2030.0	1175	7.485
3	1930.5	2008.0	1132	8.847
4	1929.5	1996.0	1149	7.851
Porosidad (%)				8.629

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 103:

Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo HS.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm ²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	3.85	14.11	69.65	4.936	0.005359	3.517E-12
1 – D	3.07	12.78	73.91	5.783		
2 – I	2.78	13.53	64.35	4.756	0.004930	2.976E-12
2 – D	3.12	12.75	65.08	5.104		
3 – I	3.50	12.84	66.91	5.211	0.005142	3.237E-12
3 – D	3.71	13.45	68.23	5.073		
					Permeabilidad (m/s)	3.106E-12

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.45.

Tabla 104:

Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo HS.

Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1923.5	1997.0	1140	8.576
2	1921.5	1985.0	1140	7.515
3	1905.5	1974.0	1123	8.049
4	1934.5	1996.0	1148	7.252
Porosidad (%)				7.606

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 105:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo HS.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm ²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	3.41	10.93	31.33	2.866	0.002812	8.533E-13
1 – D	3.19	9.66	26.64	2.758		
2 – I	4.16	10.26	46.74	4.556	0.004461	2.148E-12
2 – D	3.98	11.14	48.65	4.367		
3 – I	4.87	11.37	34.32	3.018	0.003303	9.929E-13
3 – D	4.44	11.15	33.99	3.048		
					Permeabilidad (m/s)	9.231E-13

Fuente: Elaboración propia.

- Para una relación agua/cemento de 0.40.

Tabla 106:
Porosidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo HS.

Porosidad del concreto elaborado con relación de 0.40 y cemento tipo II-B.				
Muestra	Peso seco (gf)	Peso saturado (gf)	Peso Sumergido (gf)	Porosidad (%)
1	1917.5	1981.0	1131	7.471
2	2003.0	2065.0	1189	7.078
3	1996.0	2070.0	1173	8.250
4	1881.5	1945.0	1113	7.632
Porosidad (%)				7.274

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 107:
Permeabilidad del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo HS.

Probeta / Mitad	Prof. Máx. (cm)	Base (cm)	Área (cm ²)	Prof. Media (cm)	Prof. Media Prom. (m)	Coef. de Perm. (m/s)
1 – I	2.92	11.65	26.31	2.258	0.002241	5.182E-13
1 – D	2.57	12.02	26.72	2.223		
2 – I	6.05	10.57	37.37	3.535	0.003300	1.124E-12
2 – D	5.33	10.85	33.25	3.065		
3 – I	3.70	11.61	32.76	2.822	0.002598	6.967E-13
3 – D	3.15	11.82	28.07	2.375		
					Permeabilidad (m/s)	6.074E-13

Fuente: Elaboración propia.

4.3.1.4 Resumen y comparación.

Se tienen las siguientes porosidades para las relaciones agua cemento de 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.55 y 0.60 elaboradas con los cementos tipo I, IP y HS.

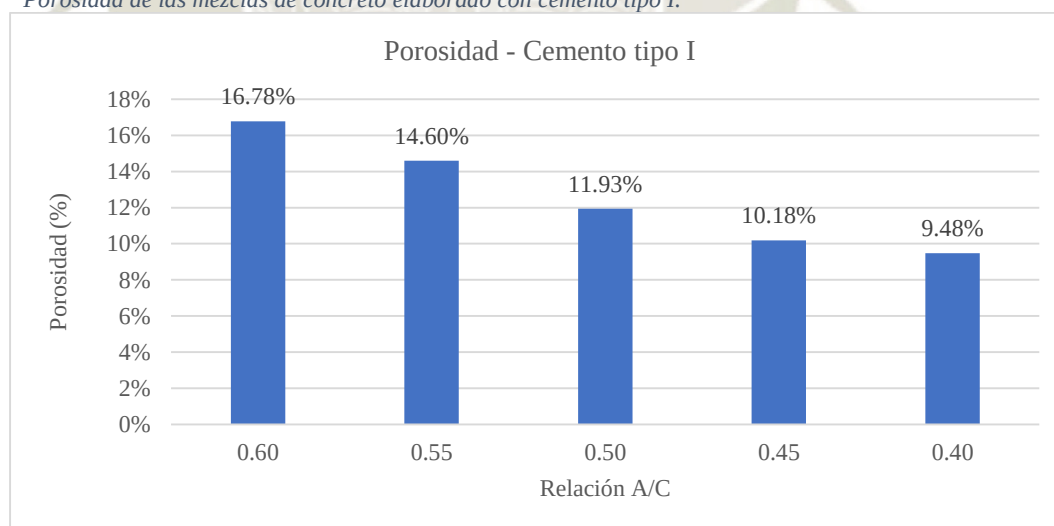
Tabla 108:
Porosidad de las mezclas de concreto.

Relación a/c	Porosidad (%)		
	Cemento tipo I	Cemento tipo IP	Cemento tipo HS
0.60	16.78	13.26	14.45
0.55	14.60	12.96	12.92
0.50	11.93	12.69	8.63
0.45	10.18	12.21	7.61
0.40	9.48	10.64	7.27

Fuente: Elaboración propia.

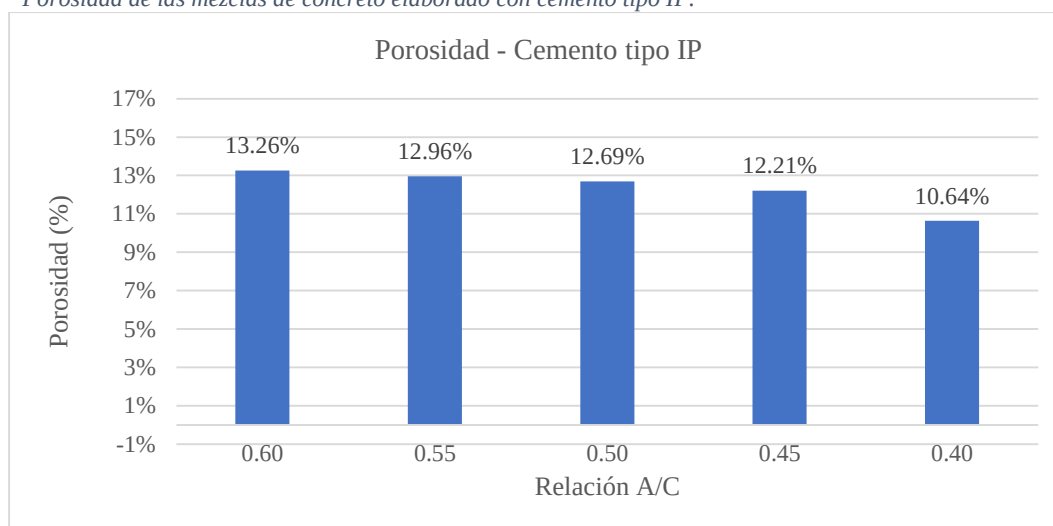
Para las cuales se tienen los siguientes gráficos, los cuales serán explicados posteriormente.

Ilustración 13:
Porosidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.



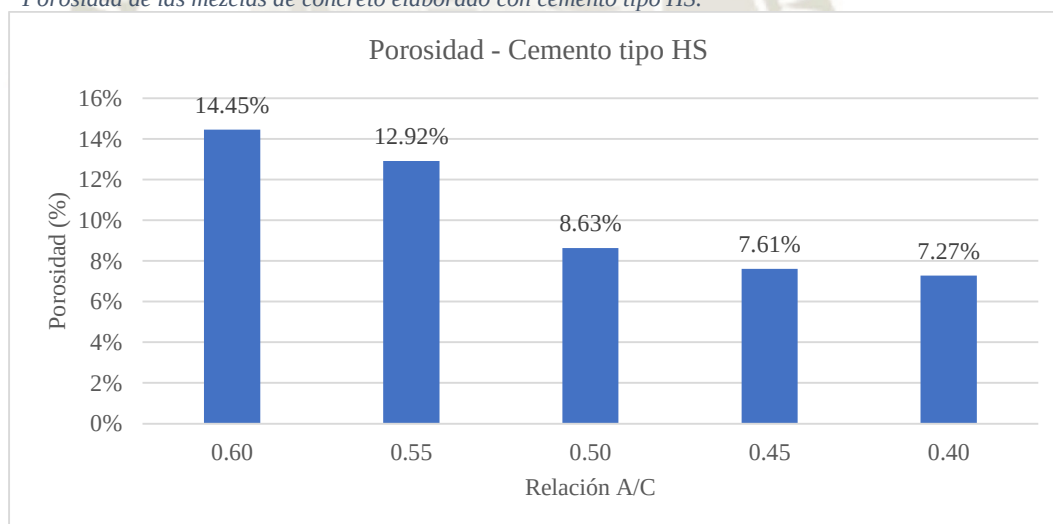
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 14:
Porosidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.



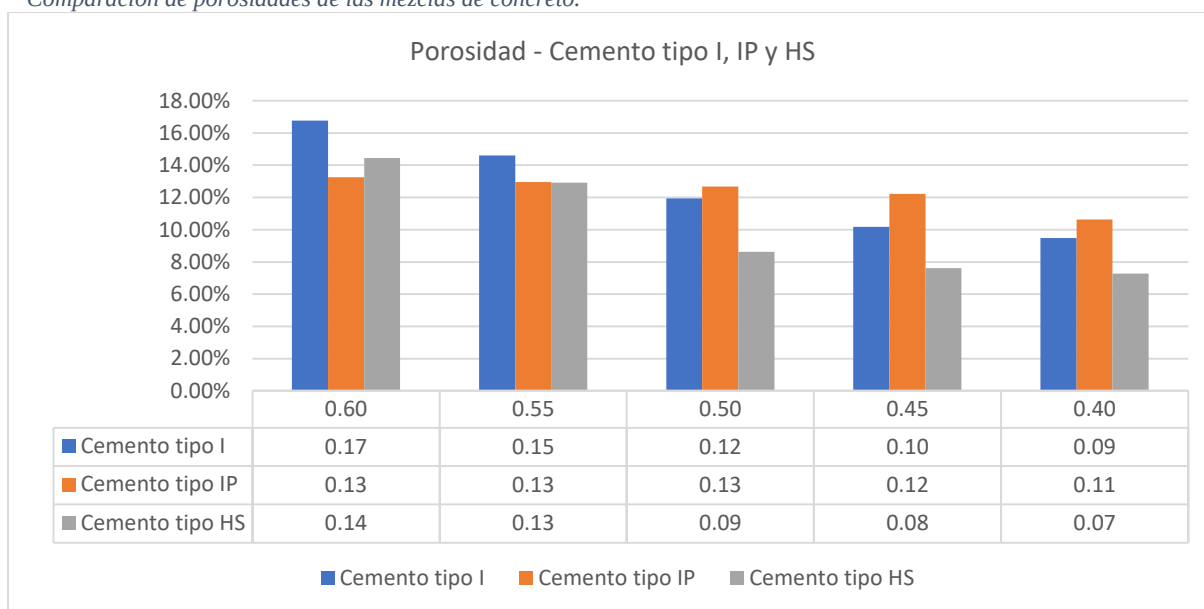
Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 15:
Porosidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 16:
Comparación de porosidades de las mezclas de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de porosidad necesarios para obtener el coeficiente de permeabilidad del concreto dependen de la relación agua/cemento y el tipo de cemento considerado en las mezclas. La reducción del factor agua/cemento reducirá los valores de porosidad, la magnitud de dicha reducción dependerá del tipo de cemento. Es así que para un cemento tipo I se tiene porosidades desde un 16.78% (relación agua/cemento de 0.60) hasta una porosidad de 9.48% (relación agua/cemento 0.40), esta es una diferencia pronunciada a comparación de la obtenida con el cemento tipo IP, cemento con el cual se tienen porosidades desde 13.26% (relación agua/cemento de 0.60) hasta 10.64% (relación agua/cemento 0.40). En este parámetro el cemento tipo HS presenta el mejor comportamiento, obteniendo bajos porcentajes de porosidad en comparación con otros cementos para relaciones agua/cemento 0.55, 0.50, 0.45, 0.40.

Con los valores de porosidad obtenidos se procede a calcular el coeficiente de permeabilidad al agua.

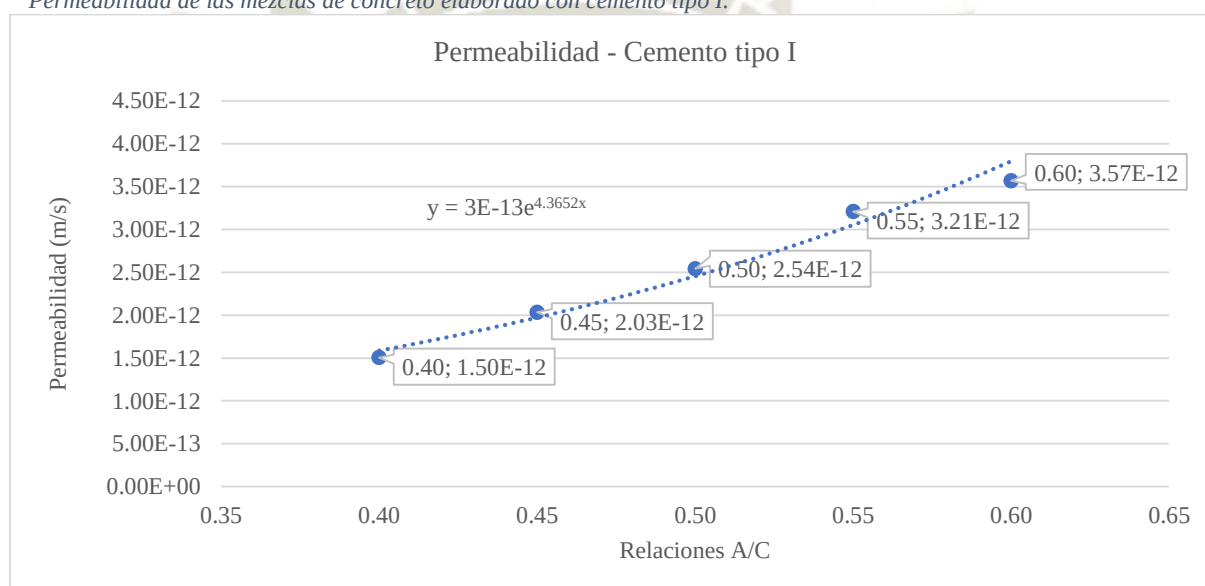
4.3.1.4.1 Análisis de la permeabilidad para cada relación agua/cemento.

Tabla 109:
Coeficiente de permeabilidad de las mezclas de concreto.

Relación a/c	Coeficiente de permeabilidad (m/s)		
	Cemento tipo I	Cemento tipo IP	Cemento tipo HS
0.60	3.57E-12	4.07E-12	5.27E-12
0.55	3.21E-12	3.36E-12	4.80E-12
0.50	2.54E-12	2.51E-12	3.11E-12
0.45	2.03E-12	1.93E-12	9.23E-13
0.40	1.50E-12	1.18E-12	6.07E-13

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 17:
Permeabilidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.



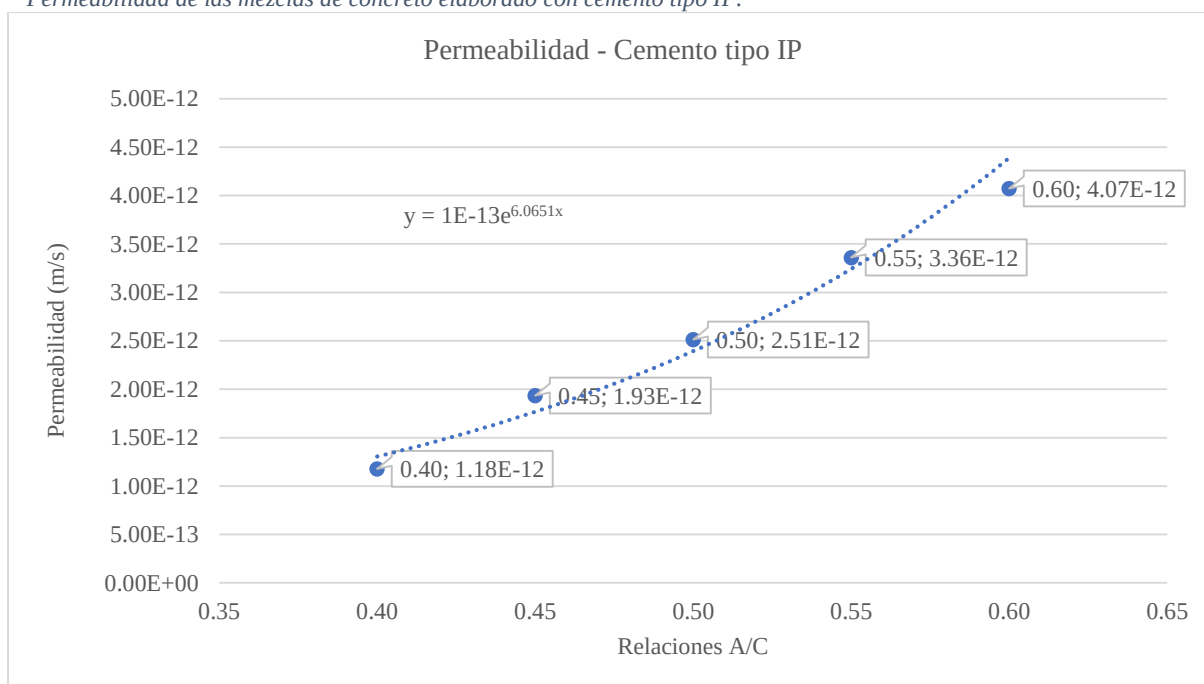
Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo I presenta valores de permeabilidad desde los 3.57E-12 m/s para una relación agua/cemento de 0.60 hasta 1.50E-12 m/s para una relación agua/cemento de 0.40, estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 3E - 13e^{4.3652x} \quad (34)$$

Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

Ilustración 18:
Permeabilidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.



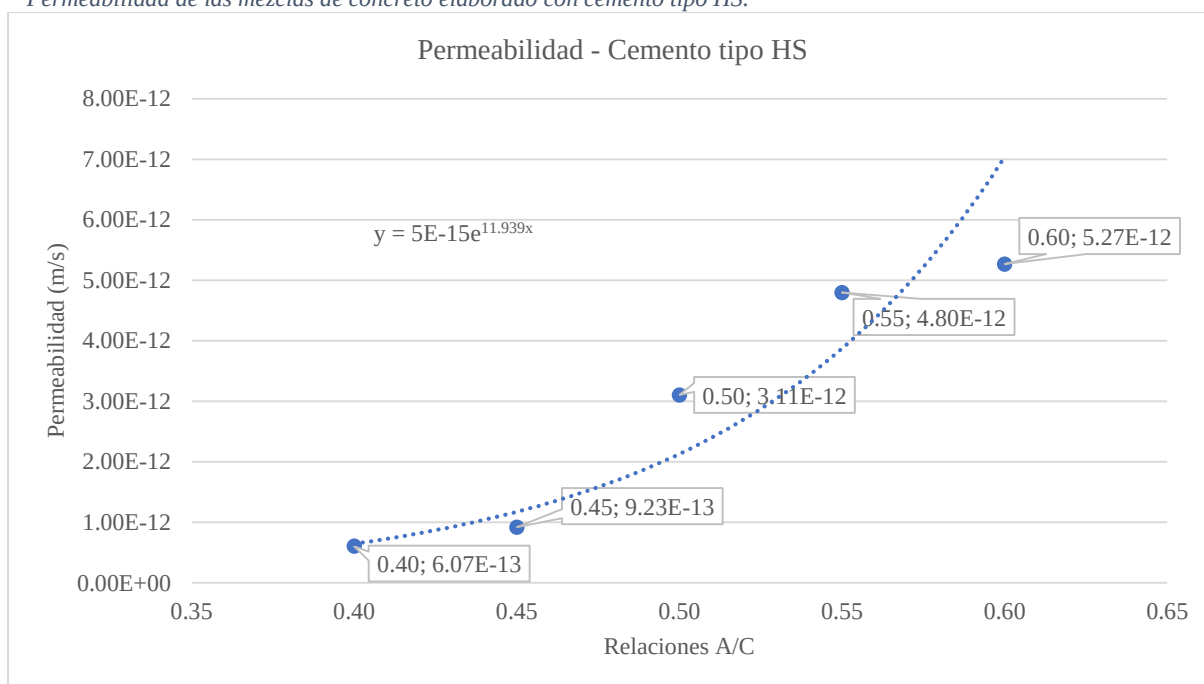
Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo IP presenta valores de permeabilidad desde los 4.07E-12 m/s para una relación agua/cemento de 0.60 hasta 1.18E-12 m/s para una relación agua/cemento de 0.40, estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 1E - 13e^{6.0651x} \quad (35)$$

Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

Ilustración 19:
Permeabilidad de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.



Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo HS presenta valores de permeabilidad desde los 5.27E-12 m/s para una relación agua/cemento de 0.60 hasta 6.07E-13 m/s para una relación agua/cemento de 0.40, estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 5E - 15e^{11.939x} \quad (36)$$

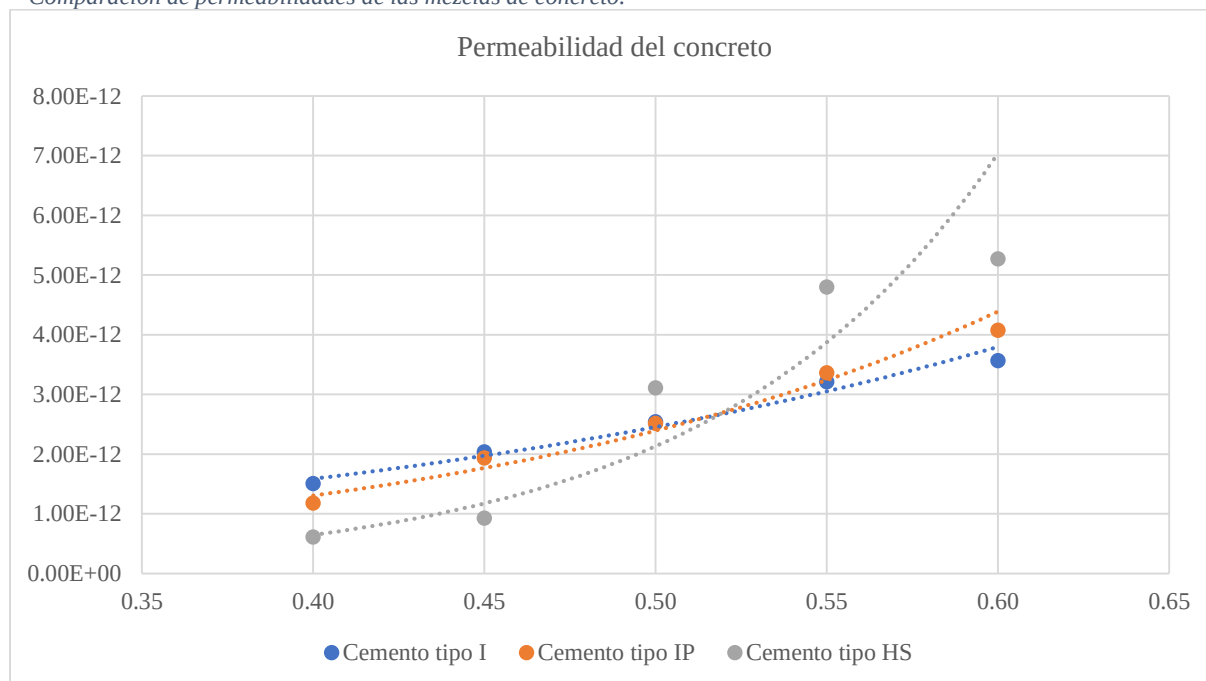
Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

4.3.1.4.2 Comparación de la permeabilidad para cada relación agua/cemento

utilizando cementos tipo I, IP y HS.

Ilustración 20:

Comparación de permeabilidades de las mezclas de concreto.



Fuente: Elaboración propia.

Los valores de permeabilidad obtenidos dependerán de la relación agua/cemento y del tipo de cemento utilizado en las mezclas. La reducción del factor agua/cemento reducirá los valores de permeabilidad, la magnitud de dicha reducción varía según el tipo de cemento.

Los concretos elaborados con cemento tipo I presentan la menor permeabilidad en mezclas con relación agua/cemento 0.60 y 0.55, sin embargo, no tiene el mismo comportamiento para relaciones agua/cemento menores, posicionándose, así como la mezcla con mayor permeabilidad en relaciones agua/cementos iguales a 0.45 y 0.40.

Los concretos elaborados con cemento tipo IP no presentará permeabilidades máximas o mínimas a comparación de los cementos tipo I y HS.

Los concretos elaborados con cemento tipo HS presentan menor permeabilidad en mezclas con relación agua/cemento 0.45 y 0.40, mientras que considerando

relaciones de 0.60 y 0.55 su permeabilidad será considerablemente alta a comparación de los cementos tipo I y IP.

En el rango de relaciones agua/cemento de 0.51 a 0.54 las mezclas elaboradas con los tres tipos de cemento presentarán una permeabilidad similar.

El cemento tipo HS presenta una alta variación en el coeficiente de permeabilidad hallado con diferentes relaciones agua/cemento a comparación de los cementos tipo I y IP.

4.3.2 Resistencia a la compresión.

Se ensayó 4 probetas cilíndricas de 100mm x 200mm de una edad de 3, 7 y 28 días para relaciones agua/cemento 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40 considerando el uso de cemento tipo IP y HS, lo cual arrojó un total de 120 probetas.

Se ensayó 4 probetas cilíndricas de 100mm x 200mm de una edad de 3, 7 y 28 días para la relación agua/cemento 0.40 considerando el uso de cemento tipo I. lo cual arrojó un total de 12 probetas.

La investigación “INFLUENCIA DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO” nos proporcionará los datos de 4 probetas cilíndricas de 150mm x 300mm de una edad de 3, 7 y 28 días para relaciones agua/cemento 0.60, 0.55, 0.50, 0.45 que consideró el uso de cemento tipo I, lo cual arrojó un total de 48 probetas.

Para la presente investigación se consideró los datos de 180 probetas en total.

Se tomó en cuenta el procedimiento descrito en la norma técnica NTP 339.034 (2015).

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se tomará en cuenta el promedio de dos datos para probetas de 300mmx15mm y tres datos para probetas de 200mmx100mm como mínimo.

A continuación, se proporcionarán tablas con datos necesarios para el cálculo de la resistencia a la compresión del concreto: diámetro promedio, área de la base, la fuerza proporcionada por la máquina. Además, se proporcionarán datos estadísticos como desviación estándar y coeficiente de variación.

Las tablas serán divididas por cada relación agua/cemento (0.40, 0.45, 0.50, 0.55 y 0.60) y para cada cemento utilizado (I, IP y HS), las cuales serán explicadas posteriormente.

4.3.2.1 Cemento tipo I.

Tabla 110:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo I.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.60 - Fecha de vaciado 20/02/2019									
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Desv. Estándar (kgf/cm²)	Coef. de variación	
A	4	3	10.27	82.865	11778	142.135			
A	14	3	15.31	184.121	25959	140.989			
B	3	3	15.20	181.504	25034	137.926	141.33	2.65	0.02
B	11	3	15.42	186.655	26932	144.288			
A	8	7	10.31	83.525	17337	207.566			
B	7	7	15.19	181.160	38760	213.954	212.84	4.36	0.02
B	9	7	15.23	182.172	39717	218.020			
B	13	7	15.24	182.313	38618	211.822			
A	12	28	15.32	184.366	57645	312.667			
B	5	28	15.30	183.918	53968	293.436	305.08	8.83	0.03
B	15	28	15.32	184.305	55025	298.555			
B	18	28	15.26	182.800	55577	304.032			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 111:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo I.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.55 - Fecha de vaciado 21/02/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	4	3	15.34	184.753	31276	169.285	167.94	5.51
A	14	3	15.14	180.091	30004	166.604		
B	3	3	15.25	182.597	29951	164.028		
B	11	3	15.14	180.051	28178	156.500	255.18	10.20
A	8	7	15.20	181.564	44758	246.513		
A	13	7	15.30	183.816	45447	247.242		
B	7	7	15.27	183.023	49005	267.753	365.12	8.06
B	9	7	10.26	82.730	21444	259.204		
A	6	28	15.29	183.633	66428	361.744		
A	10	28	15.26	182.820	66108	361.601	365.12	8.06
A	12	28	15.28	183.430	68236	372.001		
B	5	28	10.24	82.335	31120	377.969		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 112:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo I.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.50 - Fecha de vaciado 25/02/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	4	3	15.17	180.716	37513	207.580	206.57	3.27
A	14	3	15.28	183.450	37570	204.797		
B	3	3	15.26	182.922	36682	200.534		
B	11	3	15.28	183.287	38002	207.336	287.72	9.04
A	8	7	15.22	181.868	53008	291.464		
A	13	7	15.31	184.080	52274	283.974		
B	7	7	15.28	183.430	54079	294.822	404.40	7.78
B	9	7	15.16	180.393	49507	274.439		
A	6	28	15.32	184.406	74132	402.003		
A	10	28	15.23	182.273	73557	403.554	404.40	7.78
A	12	28	15.21	181.625	74039	407.647		
B	5	28	15.33	184.651	77407	419.207		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 113:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo I.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.45 - Fecha de vaciado 26/02/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	4	3	15.17	180.716	44359	245.462		
A	14	3	15.35	185.018	45091	243.711	243.94	3.05
B	3	3	15.27	183.064	43622	238.288		0.01
B	11	3	15.16	180.393	43771	242.642		
A	8	7	15.20	181.382	60225	332.033		
A	13	7	15.27	183.206	68469	373.727	352.88	27.35
B	7	7	15.21	181.706	56432	310.568		0.08
B	9	7	15.27	183.186	59213	323.240		
A	6	28	10.23	82.158	39355	479.017		
A	10	28	15.28	183.267	83983	458.255	468.64	20.51
A	12	28	15.25	182.658	90954	497.947		0.04
B	5	28	15.38	185.877	84256	453.290		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 114:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo I.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.40 - Fecha de vaciado 06/05/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	14	3	10.28	82.919	29845	359.930		
B	11	3	10.41	85.071	30931	363.589	362.54	2.54
B	17	3	10.42	85.276	31049	364.101		0.01
B	20	3	10.35	84.093	30756	365.737		
A	8	7	10.38	84.541	37081	438.617		
A	13	7	10.21	81.833	35830	437.843	444.51	23.1
B	13	7	10.37	84.419	41124	487.144		0.05
B	19	7	10.30	83.242	38047	457.065		
A	6	28	10.29	83.202	44482	534.629		
A	10	28	10.45	85.726	46007	536.672	536.62	5.14
A	12	28	10.39	84.745	45045	531.538		0.01
B	18	28	10.37	84.459	45917	543.658		

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.2 Cemento tipo IP.

Tabla 115:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo IP.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.60 - Fecha de vaciado 06/05/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
B 3	3	10.52	86.838	7393	85.136			
B 11	3	10.29	83.161	7008	84.270	88.83	4.78	0.05
B 17	3	10.37	84.419	7843	92.906			
B 20	3	10.35	84.053	7817	93.001			
A 13	7	10.31	83.444	10524	126.120			
B 9	7	10.30	83.242	10823	130.018	128.22	1.71	0.01
B 13	7	10.32	83.606	10795	129.117			
B 19	7	10.15	80.874	10322	127.631			
A 6	28	10.34	83.890	14797	176.385			
A 10	28	10.33	83.768	15224	181.739	182.40	4.43	0.02
A 12	28	10.34	84.012	15625	185.985			
B 5	28	10.38	84.622	15695	185.471			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 116:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo IP.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.55 - Fecha de vaciado 10/05/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A 4	3	10.39	84.785	9001	106.162			
B 3	3	10.37	84.500	9372	110.911	108.61	2.22	0.02
B 11	3	10.38	84.663	9313	110.001			
B 20	3	10.35	84.174	9038	107.372			
A 8	7	10.17	81.193	12132	149.422			
A 13	7	10.34	83.931	13322	158.726	154.39	3.87	0.03
B 9	7	10.35	84.174	13088	155.487			
B 13	7	10.23	82.154	12646	153.930			
A 12	28	10.33	83.850	17693	211.009			
B 5	28	10.30	83.363	17846	214.075	212.84	5.96	0.03
B 15	28	10.23	82.234	16941	206.009			
B 18	28	10.37	84.459	18603	220.260			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 117:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo IP.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.50 - Fecha de vaciado 10/05/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
B	2	3	10.35	84.174	10243	121.688			
B	8	3	10.36	84.215	9071	107.712			
B	11	3	10.40	84.949	10403	122.462	124.00	8.60	0.07
B	17	3	10.42	85.235	10898	127.859			
B	3	7	10.42	85.276	16066	188.401			
B	9	7	10.40	84.949	15969	187.984	187.96	1.60	0.01
B	12	7	10.30	83.323	15482	185.807			
B	18	7	10.33	83.809	15895	189.657			
B	1	28	10.34	83.890	21938	261.509			
B	4	28	10.29	83.161	22090	265.629	264.73	2.31	0.01
B	7	28	10.41	85.030	22697	266.928			
B	10	28	10.35	84.053	22261	264.846			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 118:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo IP.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.45 - Fecha de vaciado 17/05/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	4	3	10.36	84.337	14213	168.526			
B	3	3	10.34	84.012	14191	168.916			
B	11	3	10.42	85.317	14664	171.877	169.77	2.79	0.02
B	17	3	10.41	85.112	14851	174.488			
A	8	7	10.37	84.459	20285	240.175			
B	7	7	10.24	82.355	20121	244.320			
B	9	7	10.35	84.134	20190	239.975	241.34	2.03	0.01
B	19	7	10.41	85.112	20503	240.894			
A	6	28	10.39	84.704	26300	310.494			
A	10	28	10.44	85.603	26632	311.109			
A	12	28	10.47	86.055	27097	314.880	311.65	2.19	0.01
B	15	28	10.39	84.745	26282	310.132			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 119:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo IP.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.40 - Fecha de vaciado 17/05/2019									
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación	
B 3	3	10.42	85.317	16908	198.179				
B 11	3	10.34	83.890	16743	199.582	201.13	3.99	0.02	
B 17	3	10.40	84.949	16967	199.732				
B 20	3	10.43	85.399	17680	207.029				
B 7	7	10.40	84.949	26040	306.538				
B 9	7	10.43	85.439	26314	307.984	306.80	3.56	0.01	
B 13	7	10.44	85.644	26867	313.704				
B 19	7	10.40	84.990	25997	305.885				
A 6	28	10.22	81.993	31184	380.323				
A 10	28	10.42	85.194	31733	372.480	386.08	8.02	0.02	
B 15	28	10.51	86.673	33584	387.481				
B 18	28	10.45	85.808	33503	390.439				

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.3 Cemento tipo HS.

Tabla 120:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo HS.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.60 - Fecha de vaciado 24/05/2019									
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación	
B 3	3	10.31	83.404	5520	66.184				
B 6	3	10.39	84.704	5138	60.658	64.01	2.57	0.04	
B 20	3	10.40	84.908	5377	63.327				
B 23	3	10.36	84.215	5546	65.855				
B 2	7	10.27	82.798	7124	86.041				
B 10	7	10.44	85.644	7232	84.442	86.84	4.07	0.05	
B 12	7	10.45	85.767	7211	84.076				
B 22	7	10.45	85.726	7956	92.807				
B 1	28	10.33	83.850	12070	143.948				
B 8	28	10.41	85.071	11547	135.733	137.48	10.12	0.08	
B 18	28	10.36	84.256	10077	119.600				
B 21	28	10.35	84.093	11165	132.769				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 121:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo HS.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.55 - Fecha de vaciado 24/05/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
B	3	3	10.54	87.293	9527	109.139			
B	6	3	10.44	85.521	8971	104.898			
B	20	3	10.44	85.562	9127	106.671	105.47	3.35	0.03
B	23	3	10.43	85.439	8645	101.183			
A	8	7	10.38	84.541	13088	154.813			
B	2	7	10.44	85.644	13878	162.042	156.34	5.42	0.03
B	12	7	10.29	83.080	12423	149.530			
B	22	7	10.40	84.990	13510	158.961			
A	6	28	10.23	82.194	18442	224.371			
A	9	28	10.27	82.798	17679	213.520			
B	1	28	10.35	84.134	18735	222.681	218.78	5.54	0.03
B	18	28	10.42	85.235	18288	214.560			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 122:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo HS.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.50 - Fecha de vaciado 24/05/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
B	3	3	10.29	83.161	11504	138.334			
B	14	3	10.34	84.012	11852	141.075			
B	20	3	10.46	85.973	12234	142.301	142.15	3.57	0.03
B	23	3	10.54	87.293	12822	146.885			
B	2	7	10.35	84.174	16801	199.597			
B	10	7	10.44	85.521	16962	198.336			
B	12	7	10.40	84.990	16879	198.601	197.54	2.67	0.01
B	22	7	10.25	82.435	15961	193.618			
B	1	28	10.35	84.134	24158	287.138			
B	8	28	10.42	85.194	22970	269.620			
B	18	28	10.41	85.153	22964	269.679	271.93	10.88	0.04
B	21	28	10.45	85.808	22421	261.291			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 123:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo HS.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.45 - Fecha de vaciado 31/05/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A 9	3	10.32	83.687	14630	174.817			
B 3	3	10.48	86.302	15044	174.319	174.53	3.11	0.02
B 6	3	10.43	85.439	14584	170.694			
B 24	3	10.19	81.513	14534	178.304			
A 8	7	10.40	84.908	20442	240.755			
A 10	7	10.41	85.153	20116	236.234	239.65	5.15	0.02
B 2	7	10.44	85.562	20120	235.150			
B 10	7	10.40	84.867	20916	246.456			
A 6	28	10.45	85.685	27085	316.098			
B 1	28	10.44	85.521	27090	316.763	318.24	2.11	0.01
B 18	28	10.43	85.480	27367	320.155			
B 21	28	10.28	82.919	26531	319.963			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 124:

Resistencia a la compresión del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo HS.

Resistencia a la compresión - Relación agua/cemento 0.40 - Fecha de vaciado 07/06/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
B 3	3	10.38	84.581	18845	222.803			
B 6	3	10.42	85.194	18603	218.361	218.57	4.19	0.02
B 14	3	10.47	86.055	18321	212.899			
B 20	3	10.43	85.358	18796	220.203			
A 8	7	10.22	81.993	22789	277.937			
A 10	7	10.42	85.276	25002	293.190	290.80	8.88	0.03
B 10	7	10.41	85.030	25370	298.364			
B 12	7	10.46	85.850	25214	293.700			
B 1	28	10.38	84.541	32510	384.548			
B 8	28	10.44	85.644	32700	381.811	379.90	4.45	0.01
B 21	28	10.44	85.562	32010	374.113			
B 23	28	10.61	88.414	33521	379.137			

Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.4 Resumen y comparación.

4.3.2.4.1 Análisis de la resistencia a la compresión para cada relación

agua/cemento.

Se tienen los siguientes esfuerzos de compresión para las relaciones agua cemento de 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.55 y 0.60 elaboradas con los cementos tipo I, IP y HS.

Tabla 125:
Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto.

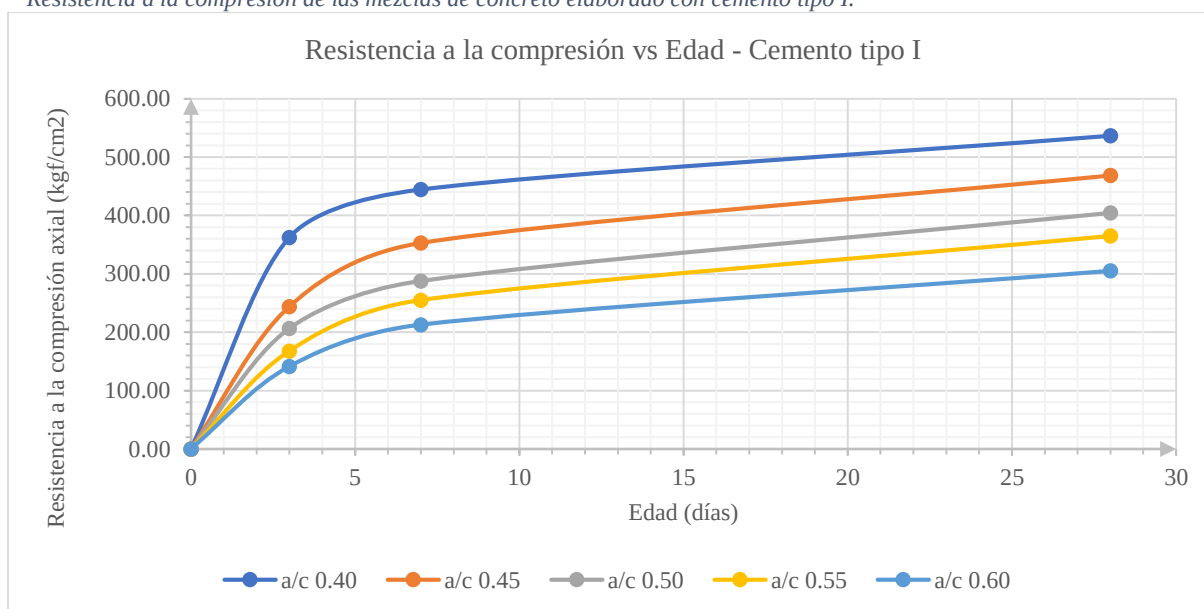
Tipo de cemento	A/C	Esfuerzo de compresión (kgf/cm ²)			
		0 días	3 días	7 días	28 días
I	0.40	0.00	362.54	444.51	536.62
	0.45	0.00	243.94	352.88	468.64
	0.50	0.00	206.57	287.72	404.40
	0.55	0.00	167.94	255.18	365.12
	0.60	0.00	141.33	212.84	305.08
IP	0.40	0.00	201.13	306.80	386.08
	0.45	0.00	169.77	241.34	311.65
	0.50	0.00	124.00	187.96	264.73
	0.55	0.00	108.61	154.39	212.84
	0.60	0.00	88.83	128.22	182.40
HS	0.40	0.00	218.57	290.80	379.90
	0.45	0.00	174.53	239.65	318.24
	0.50	0.00	142.15	197.54	271.93
	0.55	0.00	105.47	156.34	218.78
	0.60	0.00	64.01	86.84	137.48

Fuente: Elaboración propia.

Los datos obtenidos serán explicados a continuación.

Ilustración 21:

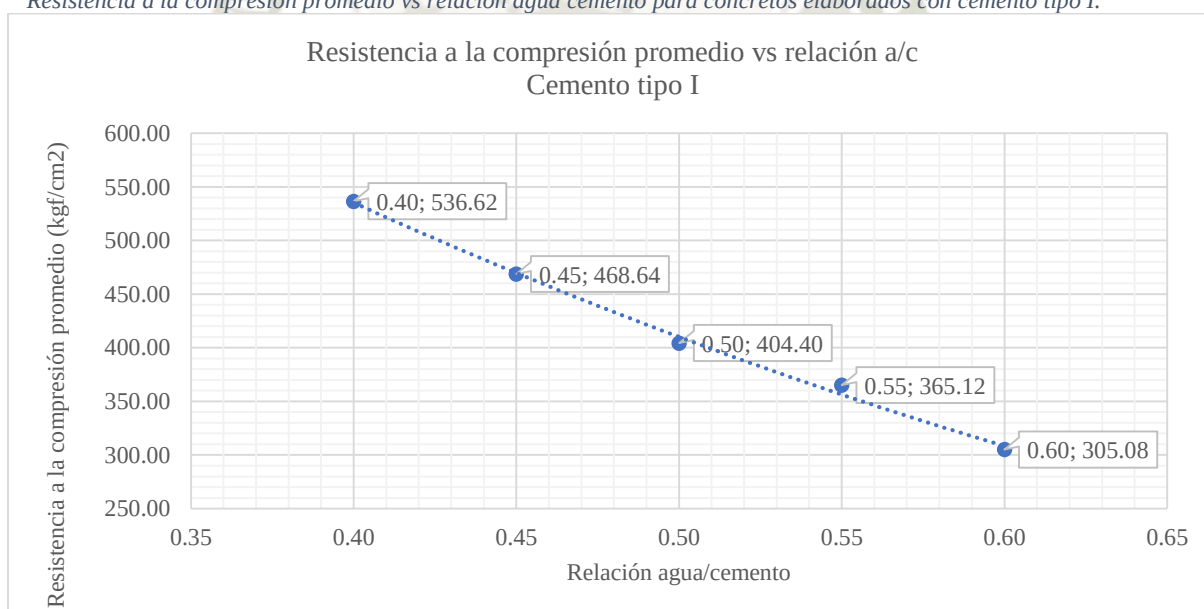
Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 22:

Resistencia a la compresión promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo I.



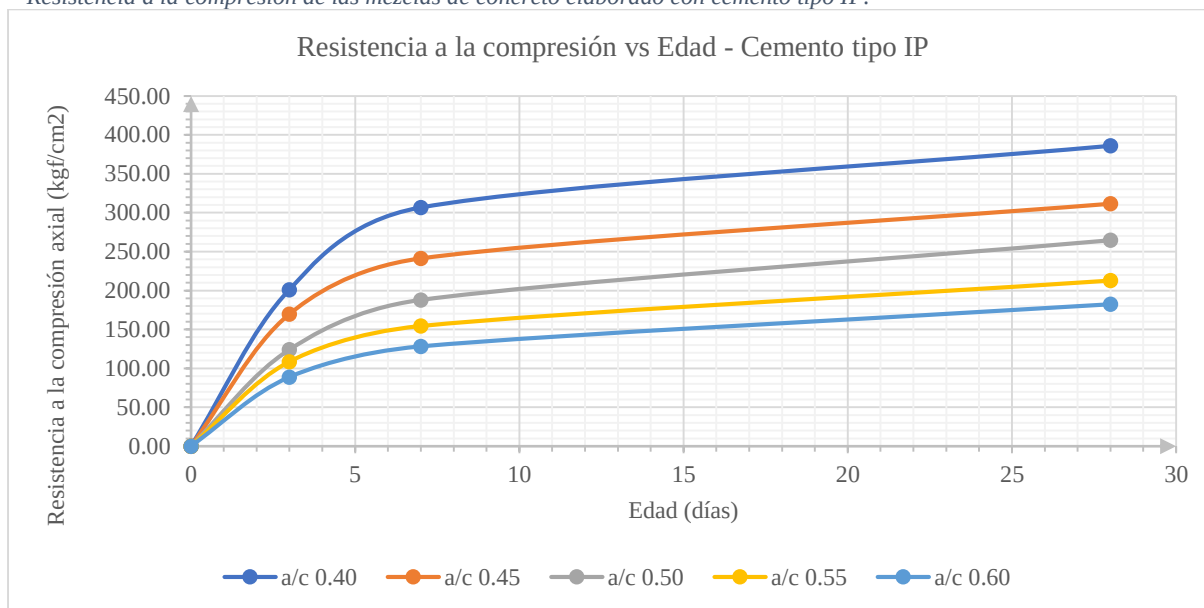
Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo I presenta valores de resistencia a la compresión desde 536.62 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.40 hasta 305.08 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.60. La ilustración anterior nos presenta el comportamiento de la resistencia a la compresión conforme

aumenta su relación agua/cemento, esta gráfica puede ser utilizada para concretos de condiciones similares.

Ilustración 23:

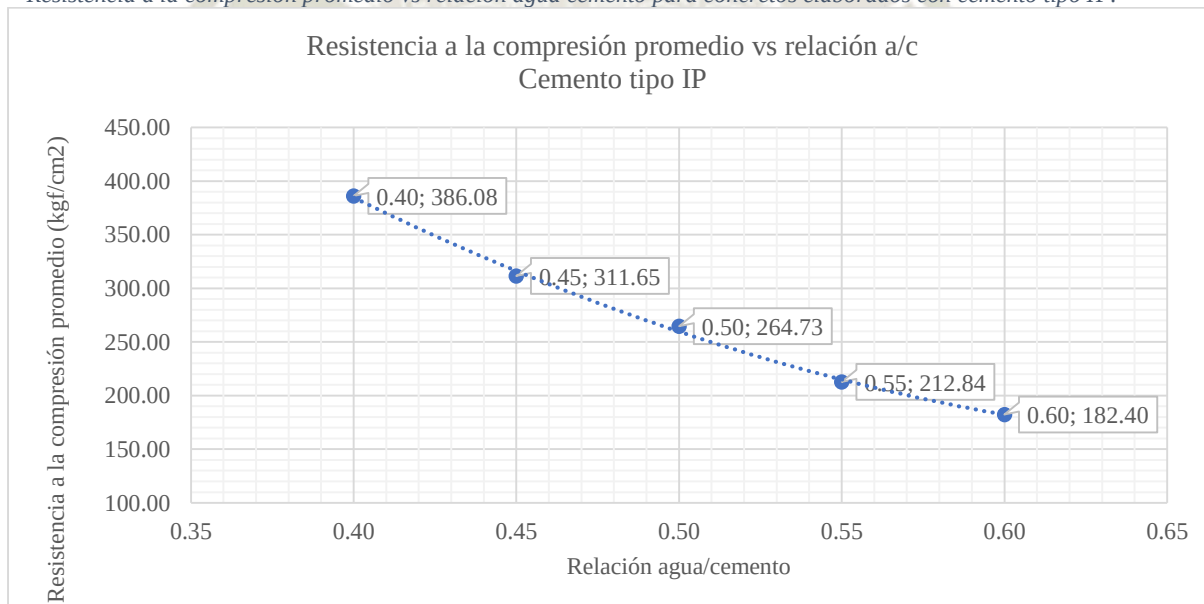
Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 24:

Resistencia a la compresión promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo IP.



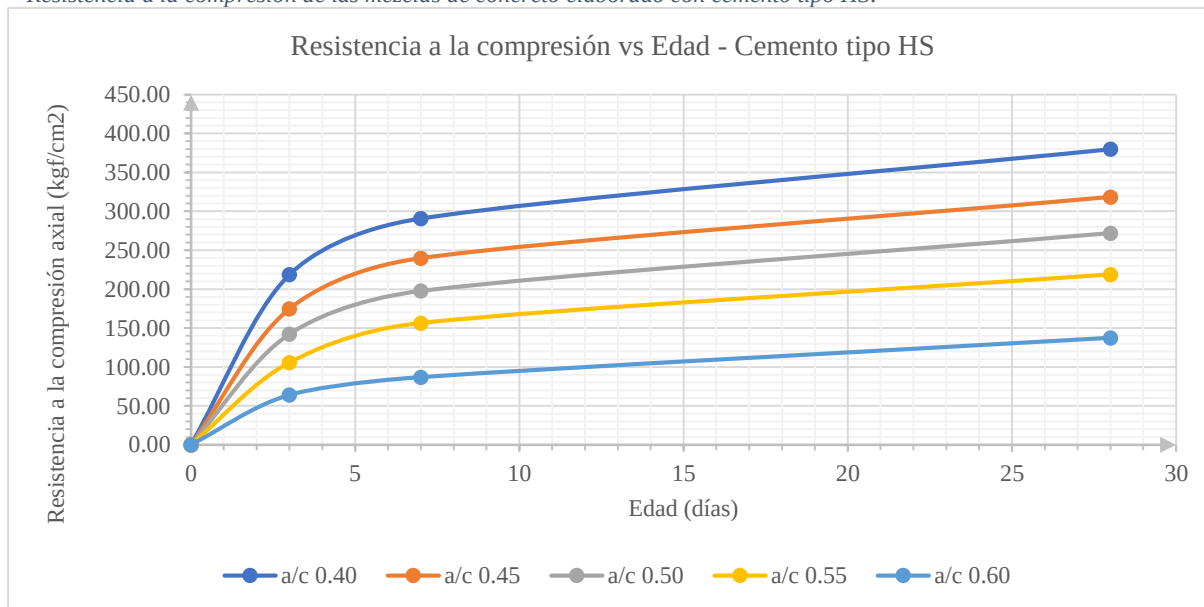
Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo IP presenta valores de resistencia a la compresión desde 386.08 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.40 hasta 182.40 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.60. La ilustración

anterior nos presenta el comportamiento de la resistencia a la compresión conforme aumenta su relación agua/cemento, esta gráfica puede ser utilizada para concretos de condiciones similares.

Ilustración 25:

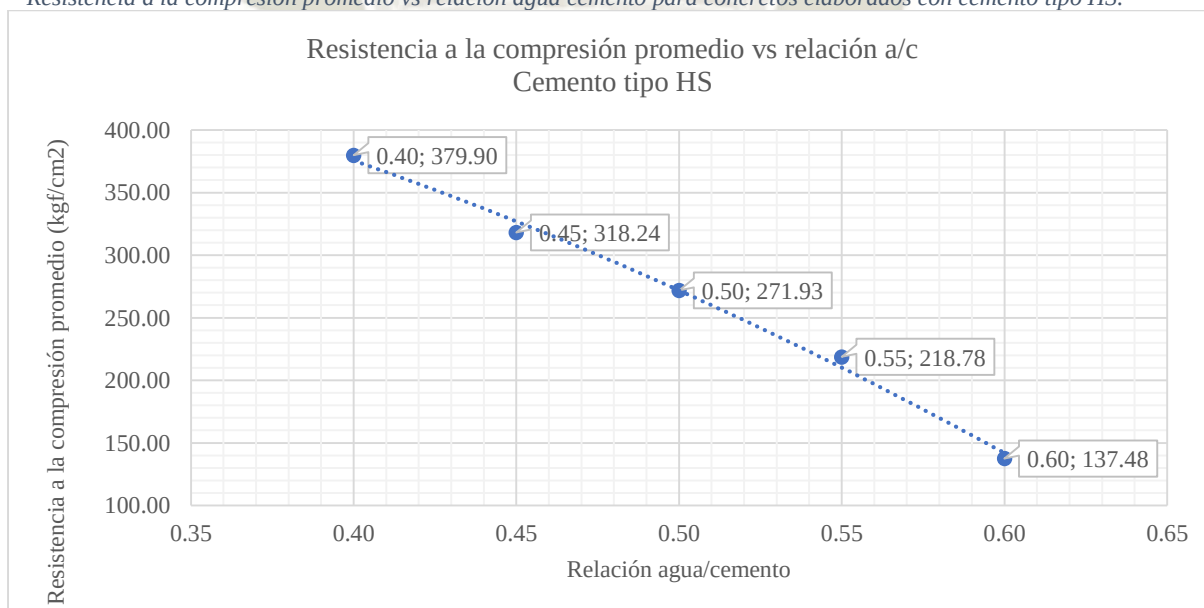
Resistencia a la compresión de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 26:

Resistencia a la compresión promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo HS.



Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo HS presenta valores de resistencia a la compresión desde 379.90 kgf/cm² para una relación

agua/cemento de 0.40 hasta 137.48 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.60. La ilustración anterior nos presenta el comportamiento de la resistencia a la compresión conforme aumenta su relación agua/cemento, esta gráfica puede ser utilizada para concretos de condiciones similares.

Los valores de resistencia a la compresión dependen de la relación agua/cemento y el tipo de cemento considerado en las mezclas. La reducción del factor agua/cemento aumentará los valores de resistencia a la compresión, la magnitud de dicho aumento varía según el tipo de cemento.

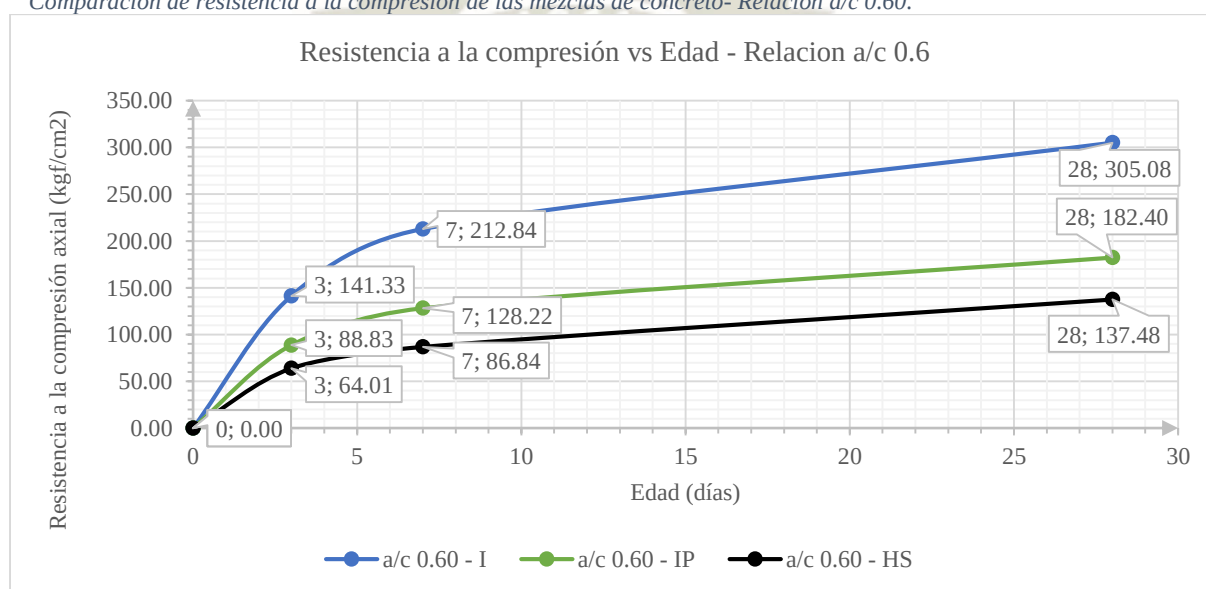
Para cada tipo de cemento, en mezclas elaboradas con diferentes relaciones agua/cemento la evolución de la resistencia a la compresión presentará la misma tendencia.

4.3.2.4.2 Comparación de resistencia a la compresión para cada relación agua/cemento utilizando cementos tipo I, IP Y HS.

A continuación, se presentarán gráficos que serán posteriormente explicados.

Ilustración 27:

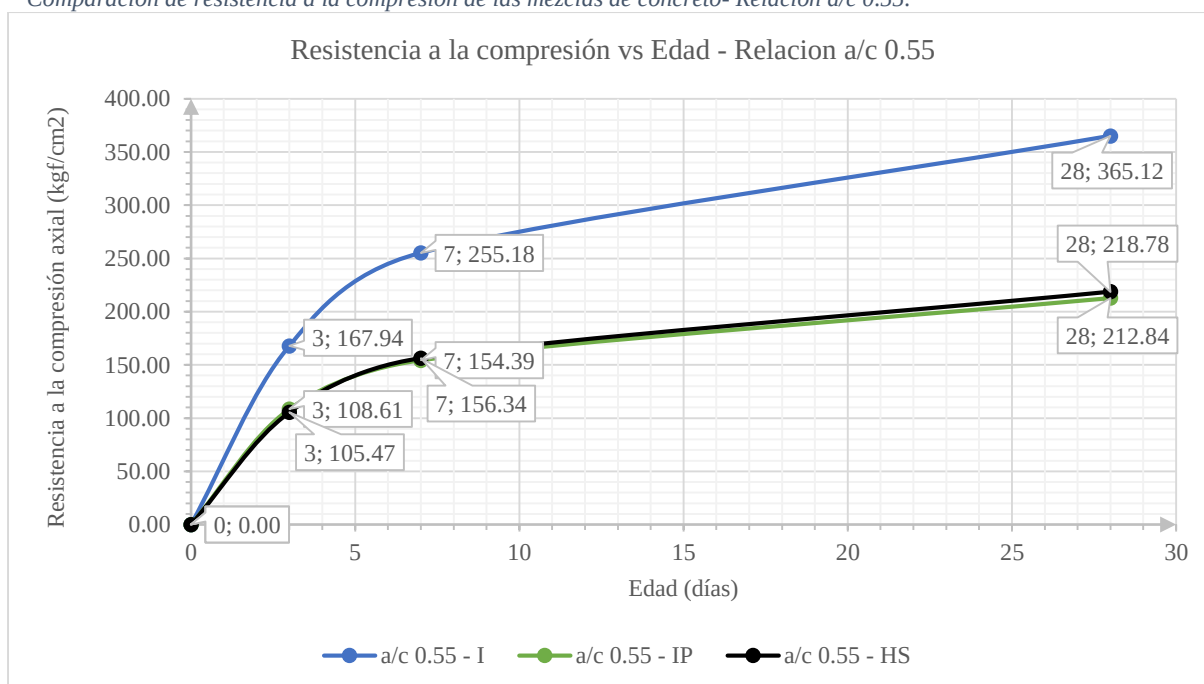
Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.60.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 28:

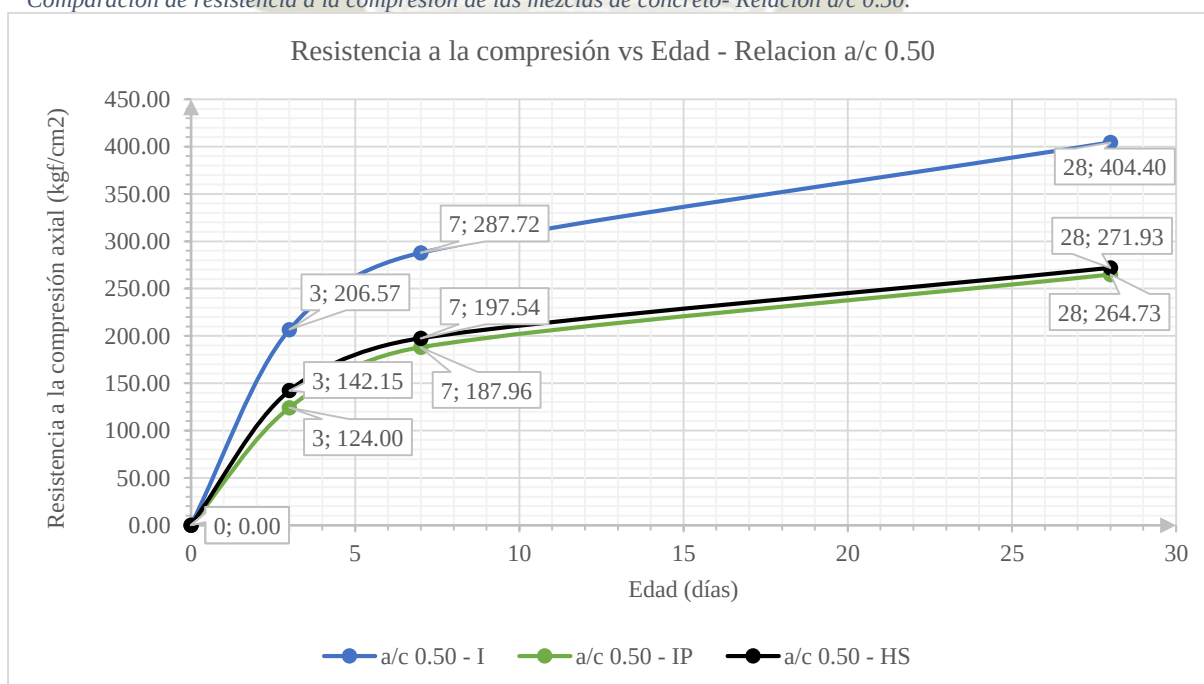
Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.55.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 29:

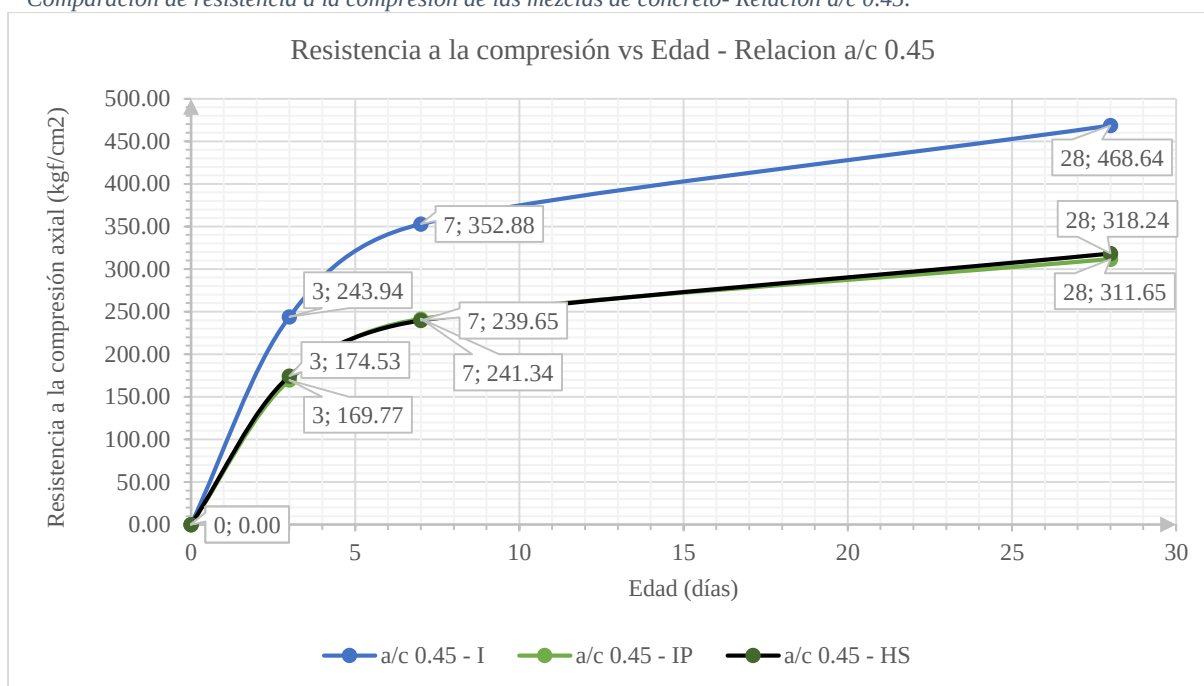
Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.50.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 30:

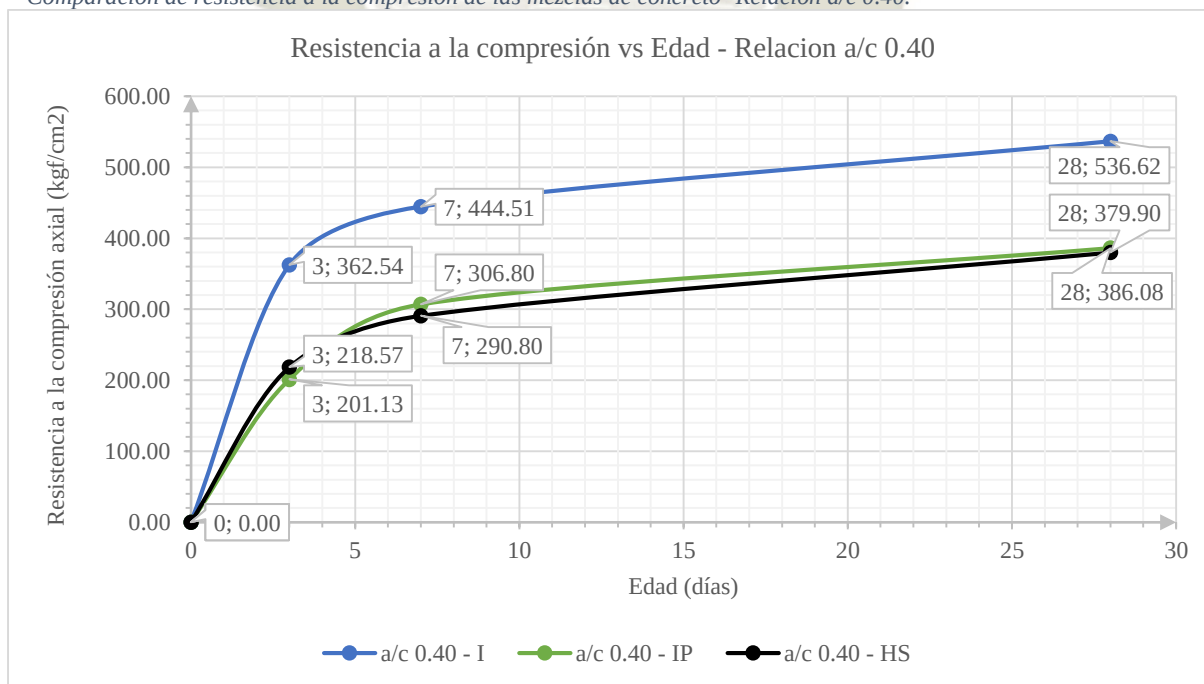
Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.45.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 31:

Comparación de resistencia a la compresión de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.40.



Fuente: Elaboración propia.

En todas las relaciones agua/cemento consideradas, las mezclas elaboradas con cemento tipo I presentan una resistencia a la compresión elevada, esta diferencia es de un 41% a 67%, la variación aumentara conforme aumente la relación agua/cemento.

Los cementos tipo IP y HS generarán resistencias muy parecidas en todas las relaciones agua/cemento a excepción de 0.60, en la cual el cemento IP tendrá una resistencia a la compresión mayor en un 32.67%.

4.3.2.4.3 Norma peruana E 0.60 – Resultados de laboratorio.

La norma peruana E 0.60 nos brinda valores de relaciones agua/cemento con sus respectivos valores de resistencia a la compresión del concreto. Esta sección tiene como objetivo comparar dichos valores con los obtenidos en el laboratorio bajo las condiciones presentes en la presente investigación.

Tabla 126:

Resistencia a la compresión de norma peruana E 0.60 vs resultados de laboratorio.

Relación agua/cemento	Resistencia a la compresión E-0.60		Resistencia a la compresión obtenida en laboratorio (kgf/cm ²)		
	Resistencia a la compresión (MPa)	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	Cemento tipo I	Cemento tipo IP	Cemento tipo HS
0.40	35	356.90	536.62	386.08	379.90
0.45	31	316.11	468.64	311.65	318.24
0.50	28	285.52	404.40	264.73	271.93

Fuente: Elaboración propia.

Los datos de resistencia a la compresión proporcionados por la norma peruana E 0.60 pueden ser tomados de referencia cuando se realicen mezclas de concreto con cemento tipo IP y HS bajo las mismas condiciones que en la presente investigación.

4.3.2.4.4 Análisis de la permeabilidad en la resistencia a la compresión del concreto.

Se tienen los siguientes valores de permeabilidad y esfuerzo, los cuales serán interpretados posteriormente.

Tabla 127:

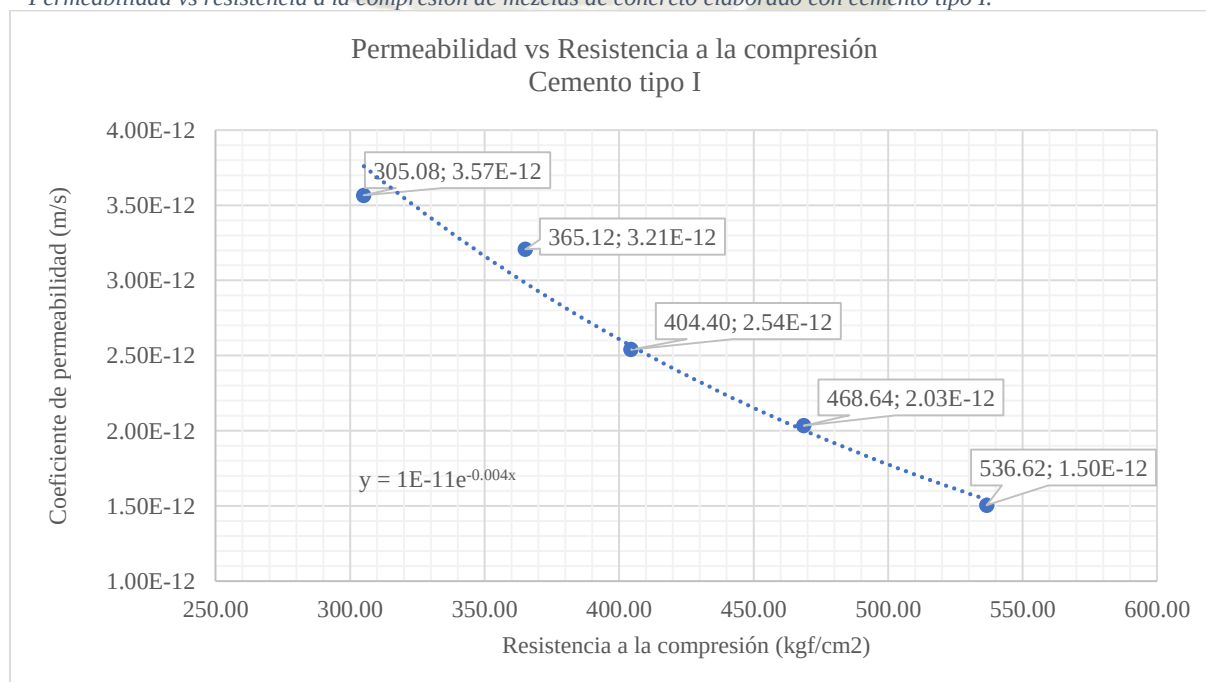
Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas elaboradas con cemento tipo I, IP y HS.

Tipo de cemento	Relación agua/cemento	Resistencia a la compresión (kgf/cm ²)	Permeabilidad (m/s)
I	0.40	536.62	1.50E-12
	0.45	468.64	2.03E-12
	0.50	404.40	2.54E-12
	0.55	365.12	3.21E-12
	0.60	305.08	3.57E-12
IP	0.40	386.08	1.18E-12
	0.45	311.65	1.93E-12
	0.50	264.73	2.51E-12
	0.55	212.84	3.36E-12
	0.60	182.40	4.07E-12
HS	0.40	379.90	6.07E-13
	0.45	318.24	9.23E-13
	0.50	271.93	3.11E-12
	0.55	218.78	4.80E-12
	0.60	137.48	5.27E-12

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 32:

Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.



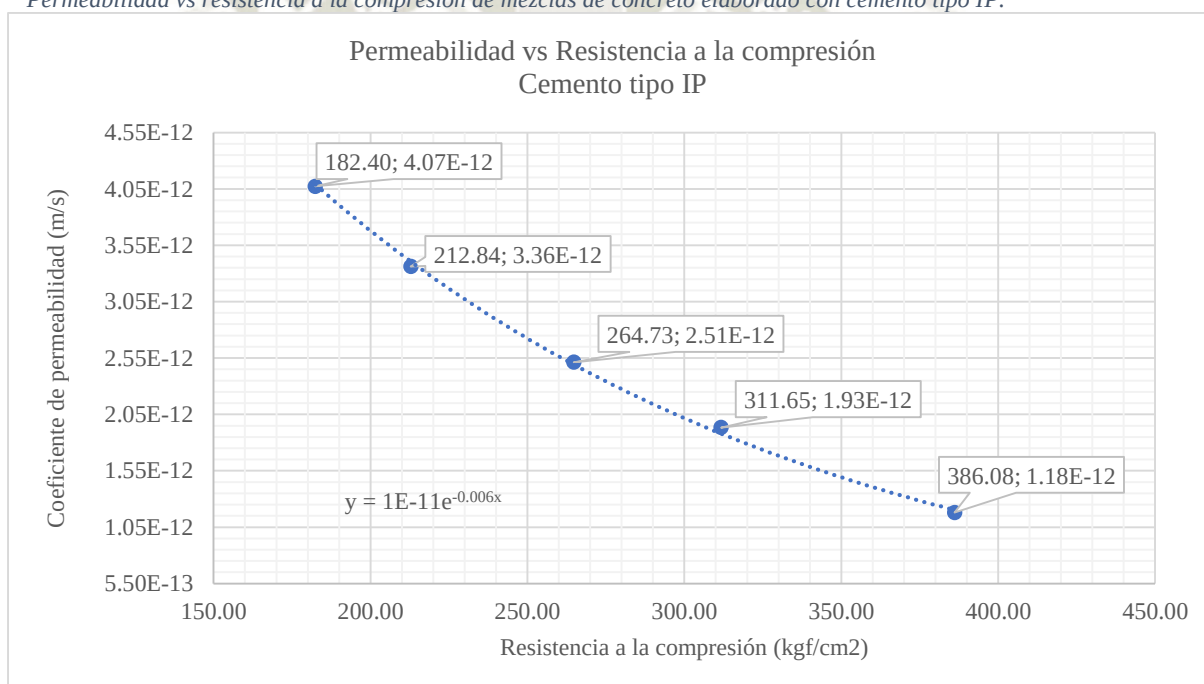
Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo I presenta valores de permeabilidad desde $3.57\text{E-}12$ m/s para una resistencia a la compresión de 305 kgf/cm^2 hasta los $1.50\text{E-}12$ m/s para una resistencia a la compresión de 537 kgf/cm^2 , estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 1\text{E} - 11\text{e}^{-0.004x} \quad (37)$$

Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

Ilustración 33:
Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.



Fuente: Elaboración propia.

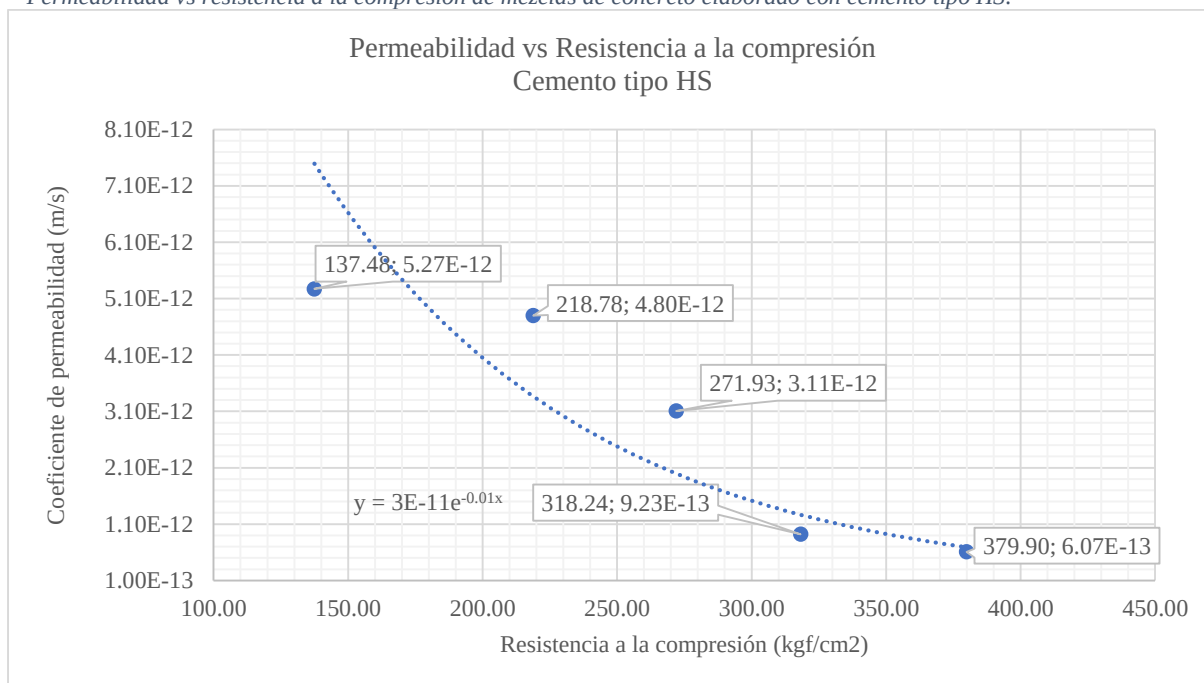
Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo IP presenta valores de permeabilidad desde los $4.07\text{E-}12$ m/s para una resistencia a la compresión de 182 kgf/cm^2 hasta los $1.18\text{E-}12$ m/s para una resistencia a la compresión de 386 kgf/cm^2 , estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 1E - 11e^{-0.006x} \quad (38)$$

Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

Ilustración 34:

Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.



Fuente: Elaboración propia.

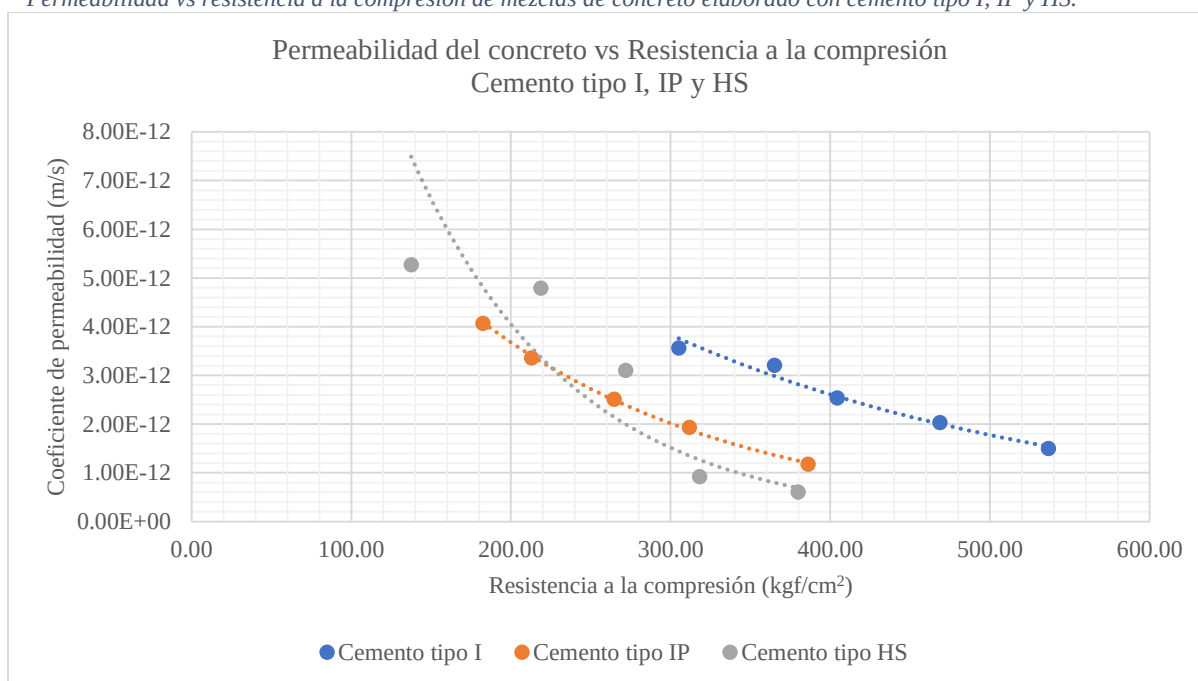
Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo HS presenta valores de permeabilidad desde los 5.27E-12 m/s para una resistencia a la compresión de 137 kgf/cm² hasta 6.07E-13 m/s para una resistencia a la compresión de 380 kgf/cm², estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 3E - 11e^{-0.01x} \quad (39)$$

Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

Ilustración 35:

Permeabilidad vs resistencia a la compresión de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I, IP y HS.



Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a la compresión y la permeabilidad son valores inversamente proporcionales, sin embargo, una alta resistencia a la compresión no siempre significa una menor permeabilidad, esto puede ser comprobado en el gráfico mostrado anteriormente. A pesar de que las mezclas realizadas con cemento tipo I presenten valores de alta resistencia, su permeabilidad puede ser la misma que concretos de menor resistencia elaborados con cementos tipo IP y HS. Esto se debe a las distintas adiciones presentes en los cementos tipo IP y HS, tales como la puzolana, esta reduce la permeabilidad del concreto mas no genera un valor agregado en la resistencia del mismo.

En la presente investigación, el cemento tipo HS nos proporciona concretos de baja permeabilidad arrojando valores de resistencia a la compresión menores que las mezclas elaboradas con cemento tipo IP y I.

Los cementos tipo IP y HS tendrán la misma permeabilidad cuando tengan una resistencia a la compresión de 230 kgf/cm².

4.3.3 Resistencia a la tracción.

Se ensayó 4 probetas cilíndricas de 100mm x 200mm de una edad de 3, 7 y 28 días para relaciones agua/cemento 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40 considerando el uso de cemento tipo IP y HS, lo cual arrojó un total de 120 probetas.

Se ensayó 4 probetas cilíndricas de 100mm x 200mm de una edad de 3, 7 y 28 días para la relación agua/cemento 0.40 considerando el uso de cemento tipo I lo cual arrojó un total de 12 probetas.

La investigación “INFLUENCIA DE LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO EN LA PERMEABILIDAD DEL CONCRETO” nos proporcionará los datos de 3 probetas cilíndricas de 100mm x 200mm de una edad de 3, 7 y 28 días para relaciones agua/cemento 0.60, 0.55, 0.50, 0.45 que consideró el uso de cemento tipo I, lo cual arrojó un total de 36 probetas.

Para la presente investigación se consideró los datos de 180 probetas en total. Se tomó en cuenta el procedimiento descrito en la norma técnica NTP 339.084 (2012) (revisada el 2017).

Para el cálculo de la resistencia a la compresión se tomará en cuenta el promedio de tres datos proporcionados como mínimo.

A continuación, se proporcionarán tablas con datos necesarios para el cálculo de la resistencia a la tracción del concreto: diámetro promedio, área de la base, la fuerza proporcionada por la máquina. Además, se proporcionarán datos estadísticos como desviación estándar y coeficiente de variación.

Las tablas serán divididas por cada relación agua/cemento (0.40, 0.45, 0.50, 0.55 y 0.60) y para cada cemento utilizado (I, IP y HS), las cuales serán explicadas posteriormente.

4.3.3.1 Cemento tipo I.

Tabla 128:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo I.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.60 - Fecha de vaciado 20/02/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	9	3	10.33	83.728	5370	16.112			
B	1	3	10.31	83.525	5514	16.605	16.61	0.50	0.03
B	6	3	10.38	84.622	5748	17.113			
A	5	7	10.33	83.748	9479	28.062			
B	2	7	10.30	83.323	7065	20.943	22.34	5.17	0.23
B	10	7	10.31	83.444	6052	18.014			
A	7	28	10.31	83.440	10127	29.928			
B	4	28	10.42	85.349	8892	25.982	31.51	6.46	0.2
B	8	28	10.36	84.252	13127	38.606			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 129:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo I.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.55 - Fecha de vaciado 20/02/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	9	3	10.52	86.982	6994	20.390			
B	1	3	10.37	84.459	7084	21.060	19.39	2.34	0.12
B	6	3	10.35	84.134	5617	16.711			
A	5	7	10.30	83.363	9704	29.251			
B	2	7	10.32	83.606	7696	22.940	25.39	3.38	0.13
B	10	7	10.41	85.030	8145	23.988			
A	7	28	10.36	84.215	11513	33.867			
B	4	28	10.26	82.677	9759	29.466	34.08	4.73	0.14
B	8	28	10.30	83.282	12968	38.918			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 130:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo I.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.50 - Fecha de vaciado 20/02/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	9	3	10.34	83.951	8671	25.608			
B	1	3	10.36	84.296	7494	22.300	22.7	2.73	0.12
B	6	3	10.35	84.134	6800	20.182			
A	5	7	10.37	84.378	9489	28.292			
B	2	7	10.28	82.919	10075	30.525	29.32	1.13	0.04
B	10	7	10.27	82.798	9662	29.152			
A	7	28	10.32	83.566	12252	36.707			
B	4	28	10.26	82.677	12247	37.159	37.00	0.25	0.01
B	8	28	10.26	82.717	12360	37.130			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 131:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo I.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.45 - Fecha de vaciado 20/02/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	9	3	10.36	84.215	9867	29.305			
B	1	3	10.37	84.378	9696	28.839	29.25	0.39	0.01
B	6	3	10.36	84.337	10047	29.604			
A	5	7	10.31	83.404	11187	33.226			
B	2	7	10.23	82.114	10238	31.323	33.20	1.86	0.06
B	10	7	10.17	81.273	11339	35.043			
A	7	28	10.18	81.313	12132	37.300			
B	4	28	10.21	81.793	14134	43.116	39.22	3.38	0.09
B	8	28	10.35	84.093	12620	37.239			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 132:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo I.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.40 - Fecha de vaciado 06/05/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	9	3	10.32	83.687	11311	33.345			
B	1	3	10.36	84.296	11703	34.148	33.15	1.11	0.03
B	16	3	10.23	82.234	10599	31.956			
A	5	7	10.35	84.174	12457	36.408			
B	2	7	10.39	84.745	11867	34.469	36.89	2.69	0.07
B	10	7	10.27	82.758	13282	39.784			
B	4	28	10.38	84.622	13996	41.160			
B	8	28	10.39	84.785	14207	41.452	41.53	0.42	0.01
B	12	28	10.40	84.990	14423	41.992			

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.2 Cemento tipo IP.

Tabla 133:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo IP.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.60 - Fecha de vaciado 06/05/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
A	9	3	10.35	84.134	4488	13.256			
B	1	3	10.28	82.919	4574	13.714			
B	6	3	10.34	83.890	4374	12.929	13.30	1.31	0.1
B	16	3	10.26	82.637	3578	10.764			
A	5	7	10.41	85.071	5186	15.135			
B	2	7	10.33	83.768	4528	13.326			
B	10	7	10.35	84.093	4875	14.299	15.28	1.30	0.09
B	14	7	10.29	83.161	5535	16.392			
A	7	28	10.34	83.931	6044	17.784			
B	4	28	10.27	82.838	6250	18.676			
B	8	28	10.46	85.891	5697	16.515	18.56	1.18	0.07
B	12	28	10.32	83.606	6486	19.227			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 134:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo IP.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.55 - Fecha de vaciado 10/05/2019									
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Desv. Estándar (kgf/cm²)	Coef. de variación	
A 9 3	10.44	85.644	5308	15.322					
B 1 3	10.43	85.399	4943	14.408					
B 6 3	10.41	85.030	4932	14.305	14.69		0.46	0.03	
B 16 3	10.38	84.663	5055	14.711					
A 5 7	10.36	84.256	4247	12.502					
B 2 7	10.30	83.363	5729	17.057	17.55		2.64	0.16	
B 10 7	10.32	83.606	6309	18.666					
B 14 7	10.42	85.194	5847	16.922					
A 7 28	10.23	82.234	7649	23.163					
B 4 28	10.30	83.282	6615	19.549	21.24		3.42	0.17	
B 8 28	10.40	84.908	7246	21.012					
B 12 28	10.47	86.055	5215	15.082					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 135:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo IP.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.50 - Fecha de vaciado 10/05/2019									
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Desv. Estándar (kgf/cm²)	Coef. de variación	
A 6 3	10.37	84.378	5302	15.537					
A 9 3	10.43	85.480	5445	15.766					
A 12 3	10.44	85.644	5427	15.665	15.66		1.23	0.08	
B 19 3	10.49	86.466	4608	13.207					
A 5 7	10.38	84.663	6010	17.544					
A 8 7	10.38	84.663	6971	20.272	18.80		1.90	0.11	
A 13 7	10.31	83.485	5308	15.727					
B 20 7	10.54	87.168	6488	18.572					
A 4 28	10.44	85.603	7327	21.155					
A 7 28	10.41	85.112	10858	31.673	22.73		4.86	0.19	
A 10 28	10.38	84.663	8665	25.421					
A 14 28	10.33	83.809	7341	21.610					

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 136:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo IP.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.45 - Fecha de vaciado 17/05/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Desv. Estándar (kgf/cm²)	Coef. de variación
A	9	3	10.38	84.541	5581	16.284			
B	1	3	10.36	84.337	5481	15.928			
B	6	3	10.30	83.282	5479	16.254	16.38	0.49	0.03
B	16	3	10.41	85.071	5911	17.071			
A	5	7	10.39	84.785	7899	22.916			
B	2	7	10.18	81.433	8910	26.970	21.59	3.26	0.14
B	10	7	10.43	85.439	6568	18.982			
B	14	7	10.40	84.949	7891	22.876			
A	7	28	10.37	84.500	11391	33.411			
B	4	28	10.44	85.562	10291	29.706	32.60	1.60	0.05
B	8	28	10.40	84.908	11251	32.664			
B	12	28	10.20	81.713	10451	31.726			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 137:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo IP.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.40 - Fecha de vaciado 17/05/2019									
Código	Edad		Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Desv. Estándar (kgf/cm²)	Coef. de variación
A	9	3	10.34	83.931	8573	25.309			
B	1	3	10.38	84.541	7439	21.572			
B	6	3	10.44	85.644	5483	15.808	18.22	4.31	0.22
B	16	3	10.23	82.114	5735	17.270			
A	5	7	10.35	84.053	7379	21.665			
B	2	7	10.40	84.867	6364	18.551			
B	10	7	10.45	85.726	8171	23.503	24.37	3.93	0.17
B	14	7	10.31	83.444	9487	27.942			
A	7	28	10.43	85.358	11731	33.903			
B	4	28	10.27	82.838	10720	32.274			
B	8	28	10.29	83.121	12352	36.802	34.33	3.27	0.1
B	12	28	10.42	85.194	9991	28.964			

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.3 Cemento tipo HS.

Tabla 138:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.60 y cemento tipo HS.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.60 - Fecha de vaciado 24/05/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
B 4	3	10.36	84.215	3026	8.859			
B 9	3	10.21	81.913	3145	9.457	9.17	1.36	0.16
B 16	3	10.42	85.235	2231	6.491			
B 19	3	10.45	85.726	3179	9.198			
A 5	7	10.36	84.256	4891	14.380			
B 5	7	10.33	83.809	4088	12.066	12.73	5.81	0.37
B 13	7	10.36	84.215	4002	11.753			
B 17	7	10.45	85.767	4341	24.118			
A 7	28	10.42	85.276	6049	17.548			
B 7	28	10.24	82.275	5574	16.818	16.24	2.27	0.15
B 11	28	10.40	84.867	4324	12.619			
B 15	28	10.26	82.596	4791	14.361			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 139:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.55 y cemento tipo HS.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.55 - Fecha de vaciado 24/05/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
B 4	3	10.42	85.194	4537	13.165			
B 9	3	10.41	85.153	4909	14.201	12.88	1.27	0.1
B 16	3	10.42	85.276	4839	14.041			
B 19	3	10.38	84.541	3911	11.430			
A 5	7	10.36	84.296	5186	15.118			
B 5	7	10.40	84.949	6238	18.127	16.02	1.82	0.11
B 13	7	10.40	84.990	5122	14.821			
B 17	7	10.37	84.378	6196	18.113			
A 7	28	10.40	84.990	7772	22.547			
B 7	28	10.41	85.112	8198	23.772	21.98	0.97	0.04
B 11	28	10.19	81.553	7900	23.988			
B 15	28	10.46	85.850	7604	21.980			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 140:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.50 y cemento tipo HS.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.50 - Fecha de vaciado 31/05/2019									
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación	
B 4	3	10.47	86.055	4923	14.130				
B 9	3	10.37	84.500	4975	14.516				
B 16	3	10.41	85.153	4989	14.432	14.34	0.17	0.01	
B 19	3	10.48	86.178	4970	14.302				
A 5	7	10.20	81.673	5374	16.382				
B 5	7	10.42	85.235	6252	18.246	17.39	2.78	0.15	
B 13	7	10.36	84.337	6006	17.545				
B 17	7	10.44	85.603	7854	22.725				
A 7	28	10.43	85.358	9166	26.528				
B 7	28	10.25	82.556	7356	22.130	23.39	2.43	0.11	
B 11	28	10.31	83.525	7229	21.517				
B 15	28	10.56	87.583	7718	21.481				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 141:

Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.45 y cemento tipo HS.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.45 - Fecha de vaciado 31/05/2019									
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación	
B 4	3	10.40	84.990	5701	16.465				
B 9	3	10.43	85.439	7473	21.679				
B 16	3	10.40	84.949	3738	10.842	16.26	4.43	0.27	
B 19	3	10.41	85.030	5537	16.060				
A 5	7	10.39	84.785	7206	20.990				
B 5	7	10.41	85.071	6808	19.732	19.31	1.85	0.1	
B 13	7	10.28	82.919	6613	19.837				
B 17	7	10.36	84.215	5702	16.661				
A 7	28	10.25	82.476	10615	31.958				
B 7	28	10.40	84.867	7540	22.042	27.09	4.92	0.19	
B 11	28	10.38	84.581	9365	27.280				
B 15	28	10.43	85.480	7469	21.524				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 142:
Resistencia a la tracción del concreto elaborado con relación a/c 0.40 y cemento tipo HS.

Resistencia a la tracción - Relación agua/cemento 0.40 - Fecha de vaciado 07/06/2019								
Código	Edad	Diámetro prom. (cm)	Área de base (cm ²)	Fuerza de rotura (kgf)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Esfuerzo (kgf/cm ²)	Desv. Estándar (kgf/cm ²)	Coef. de variación
B 4	3	10.36	84.296	7266	21.277			
B 9	3	10.46	85.891	7213	20.757			
B 16	3	10.33	83.850	8324	24.504	19.64	3.12	0.15
B 19	3	10.24	82.355	5682	16.898			
A 5	7	10.27	82.758	8089	24.276			
B 5	7	10.44	85.644	7742	22.390	23.37	1.11	0.05
B 13	7	10.43	85.399	8069	23.442			
B 17	7	10.43	85.399	8620	24.953			
A 7	28	10.43	85.358	8519	24.614			
B 7	28	10.41	85.112	12140	35.505			
B 11	28	10.30	83.363	9705	28.894	31.3	5.54	0.18
B 15	28	10.36	84.296	12290	36.178			

Fuente: Elaboración propia.

4.3.3.4 Resumen y comparación.

Se tienen los siguientes esfuerzos de tracción para las relaciones agua cemento de 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.55 y 0.60 elaboradas con los cementos tipo I, IP y HS.

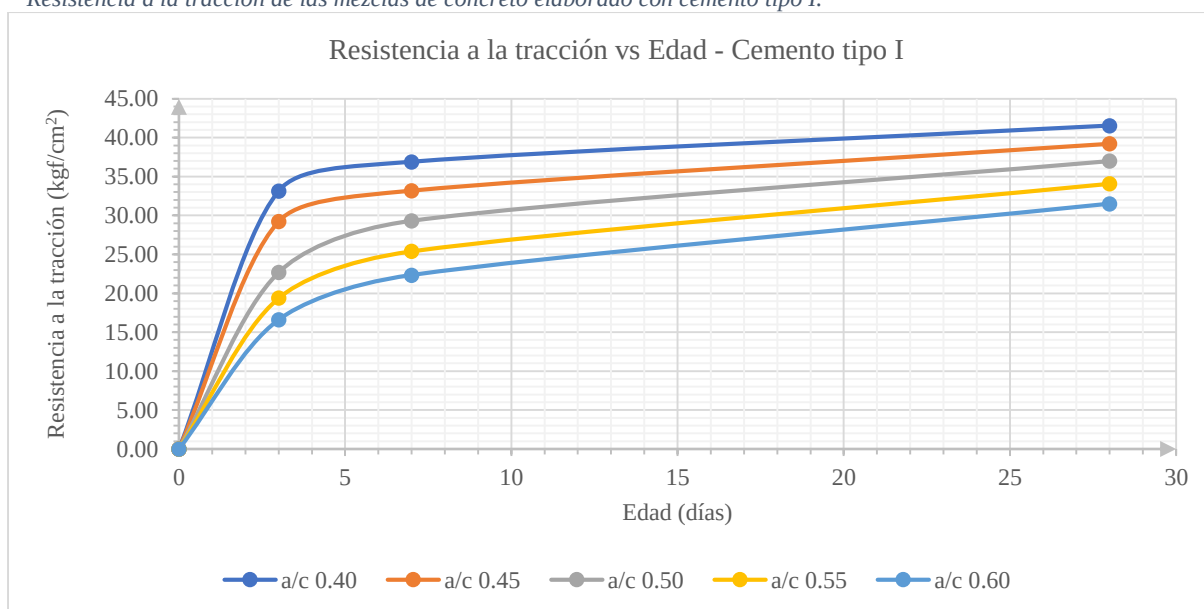
Tabla 143:
Resistencia a la tracción de las mezclas de concreto.

Tipo de cemento	A/C	Esfuerzo de tracción (kgf/cm ²)			
		0 días	3 días	7 días	28 días
I	0.40	0.00	33.15	36.89	41.53
	0.45	0.00	29.25	33.20	39.22
	0.50	0.00	22.70	29.32	37.00
	0.55	0.00	19.39	25.39	34.08
	0.60	0.00	16.61	22.34	31.51
IP	0.40	0.00	18.22	24.37	34.33
	0.45	0.00	16.38	21.59	32.60
	0.50	0.00	15.66	18.80	22.73
	0.55	0.00	14.69	17.55	21.24
	0.60	0.00	13.30	15.28	18.56
HS	0.40	0.00	19.64	23.37	31.30
	0.45	0.00	16.26	19.31	27.09
	0.50	0.00	14.34	17.39	23.39
	0.55	0.00	12.88	16.02	21.98
	0.60	0.00	9.17	12.73	16.24

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 36:

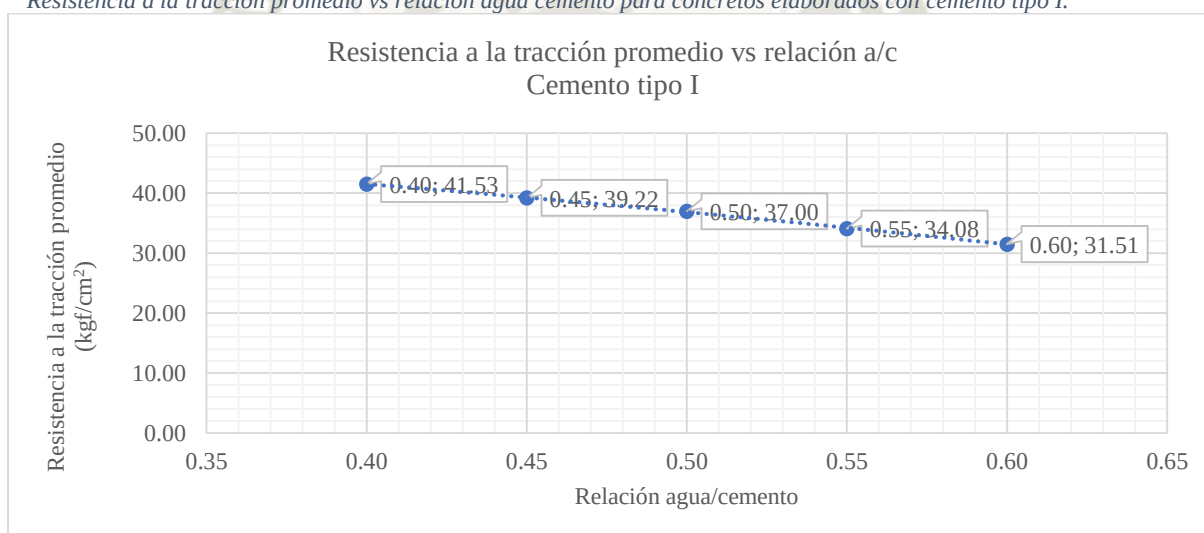
Resistencia a la tracción de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 37:

Resistencia a la tracción promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo I.

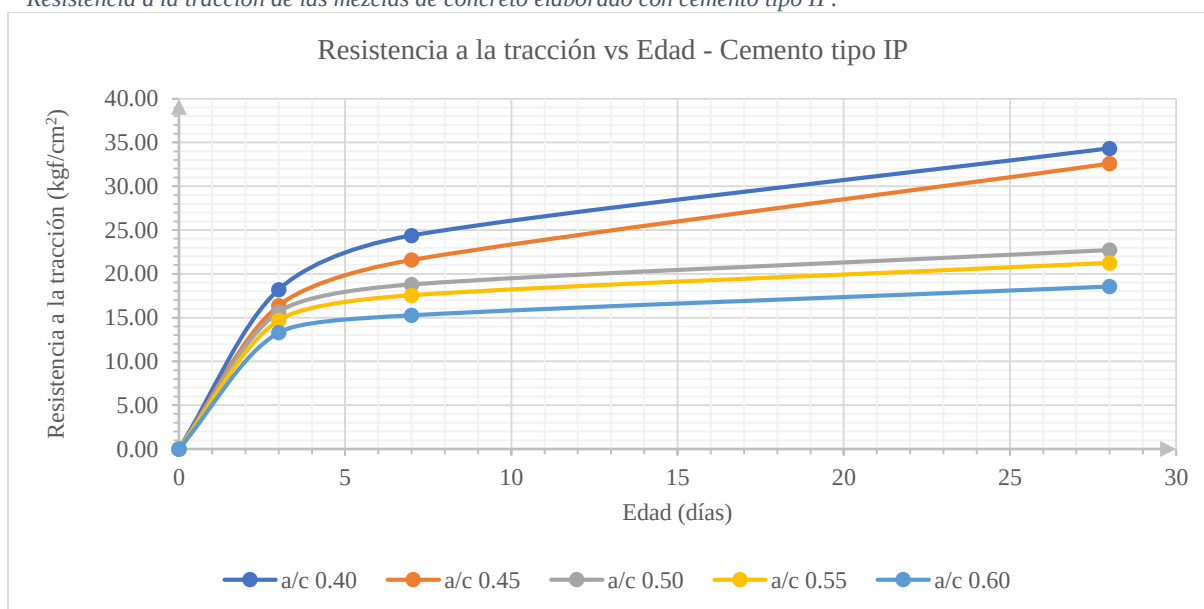


Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo I presenta valores de resistencia a la tracción desde 41.53 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.40 hasta 31.51 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.60. La ilustración anterior nos presenta el comportamiento de la resistencia a la tracción conforme aumenta su relación agua/cemento, esta gráfica puede ser utilizada para concretos de condiciones similares.

Ilustración 38:

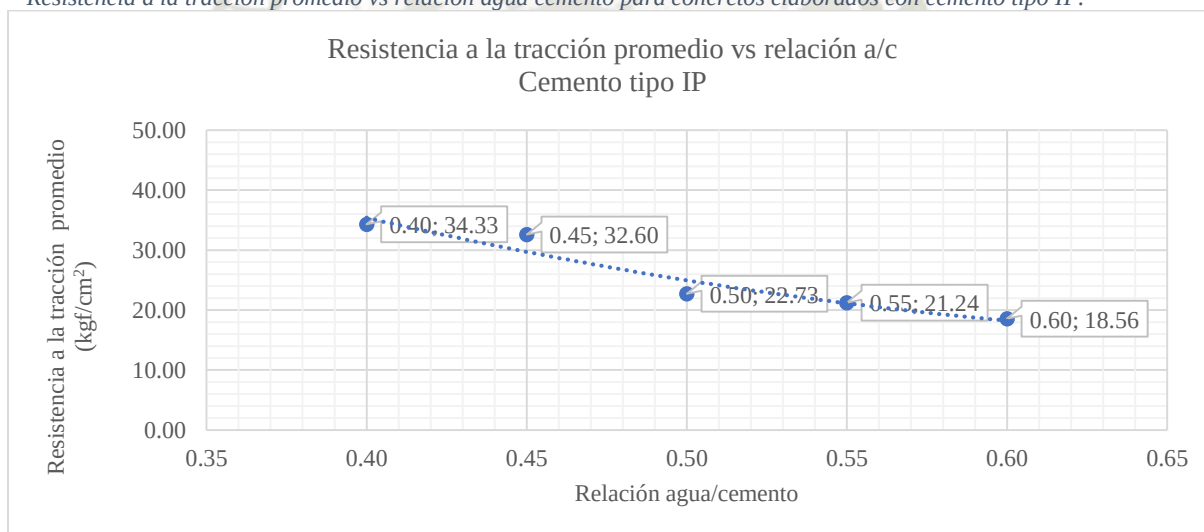
Resistencia a la tracción de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 39:

Resistencia a la tracción promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo IP.

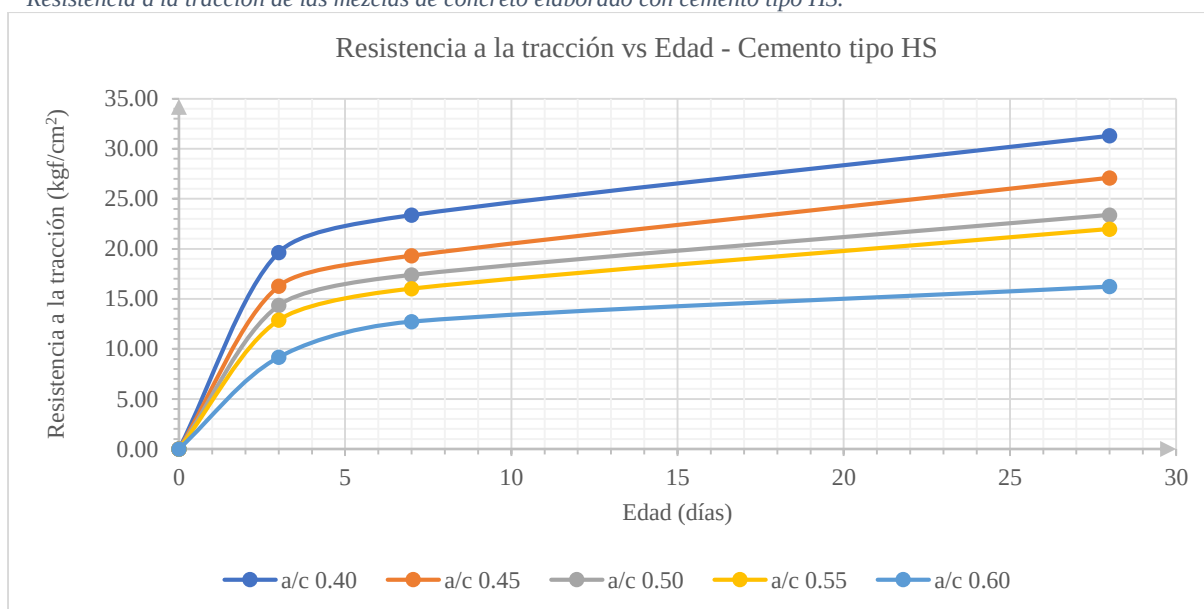


Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo IP presenta valores de resistencia a la tracción desde 34.33 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.40 hasta 18.56 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.60. La ilustración anterior nos presenta el comportamiento de la resistencia a la tracción conforme aumenta su relación agua/cemento, esta gráfica puede ser utilizada para concretos de condiciones similares.

Ilustración 40:

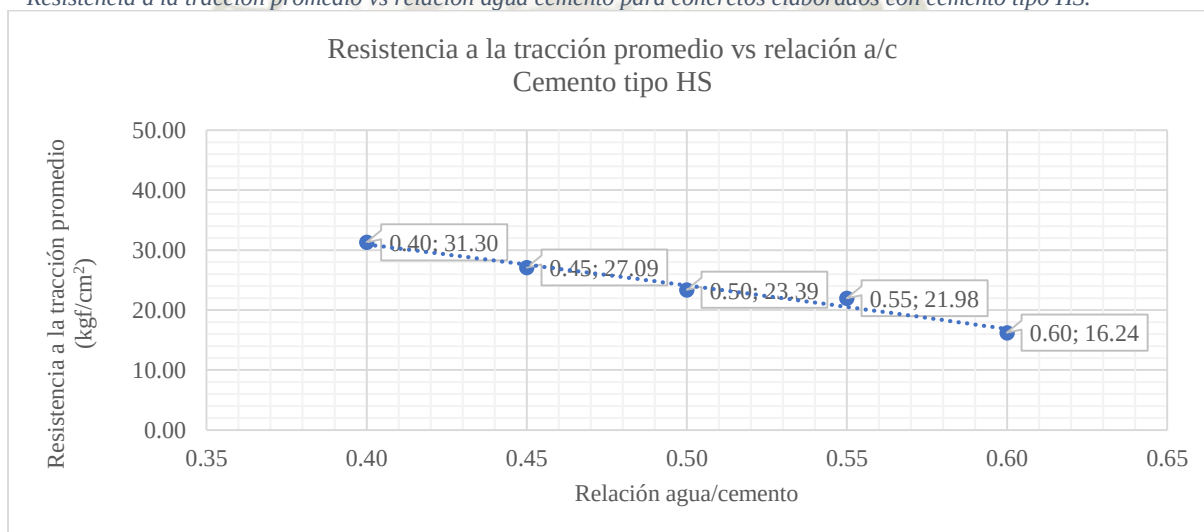
Resistencia a la tracción de las mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 41:

Resistencia a la tracción promedio vs relación agua cemento para concretos elaborados con cemento tipo HS.



Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo HS presenta valores de resistencia a la tracción desde 31.30 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.40 hasta 16.24 kgf/cm² para una relación agua/cemento de 0.60. La ilustración anterior nos presenta el comportamiento de la resistencia a la tracción conforme aumenta su relación agua/cemento, esta gráfica puede ser utilizada para concretos de condiciones similares.

Los valores de resistencia a la tracción dependen de la relación agua/cemento y el tipo de cemento considerado en las mezclas. La reducción del factor agua/cemento aumentará los valores de resistencia a la tracción, la magnitud de dicho aumento varía según el tipo de cemento.

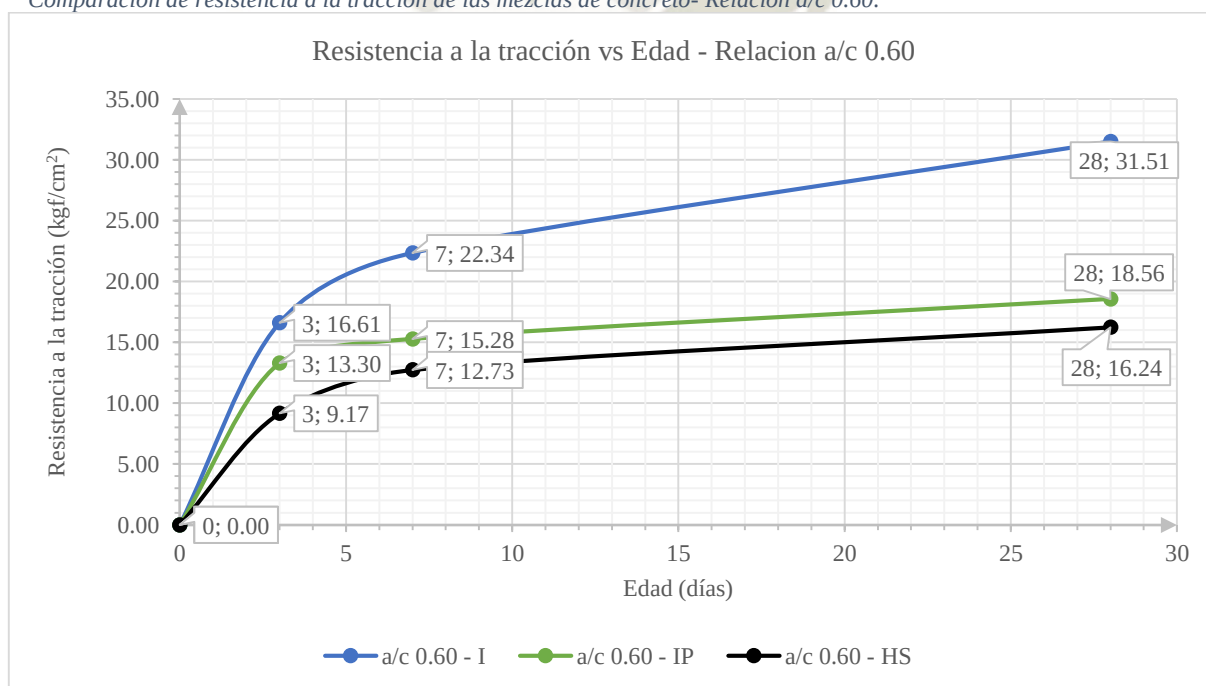
Para cada tipo de cemento, en mezclas elaboradas con diferentes relaciones agua/cemento la evolución de la resistencia a la tracción presentará la misma tendencia a excepción de las mezclas elaboradas con cemento tipo IP, las relaciones 0.40 y 0.45 se verán afectadas por el uso de aditivo súper plastificante, cambiando así su tendencia respecto a las demás relaciones agua/cemento.

4.3.3.4.1 Comparación de resistencia a la tracción para cada relación agua/cemento utilizando cementos tipo I, IP Y HS.

A continuación, se presentarán gráficos que serán posteriormente explicados.

Ilustración 42:

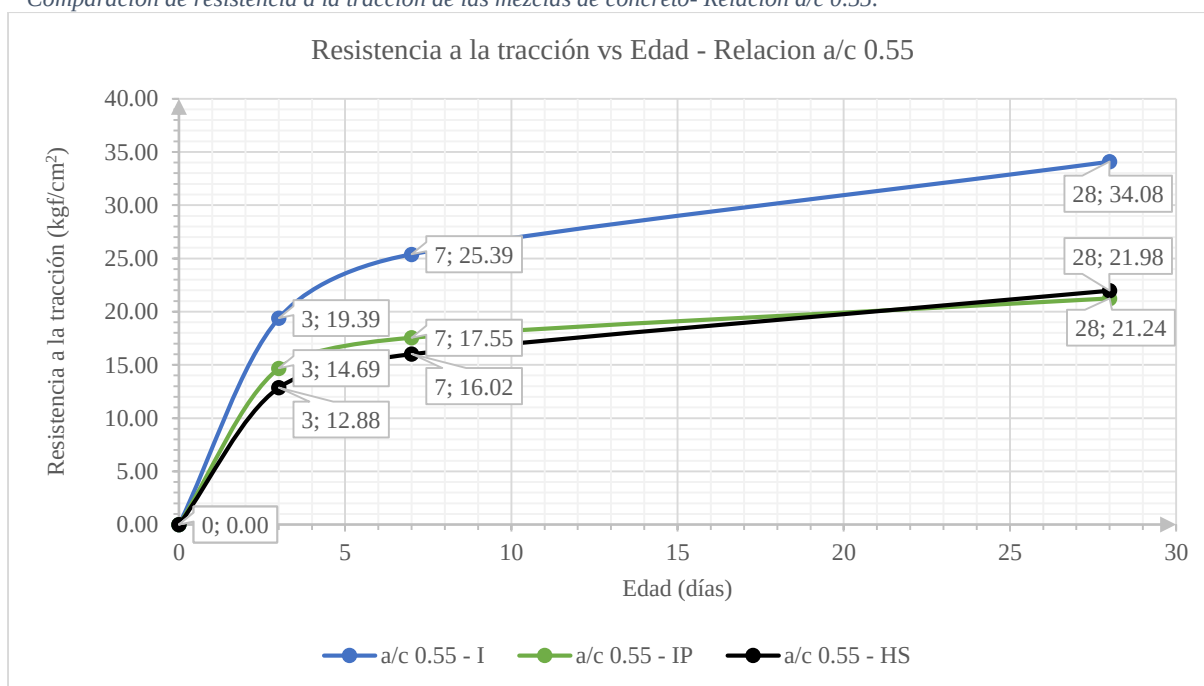
Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.60.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 43:

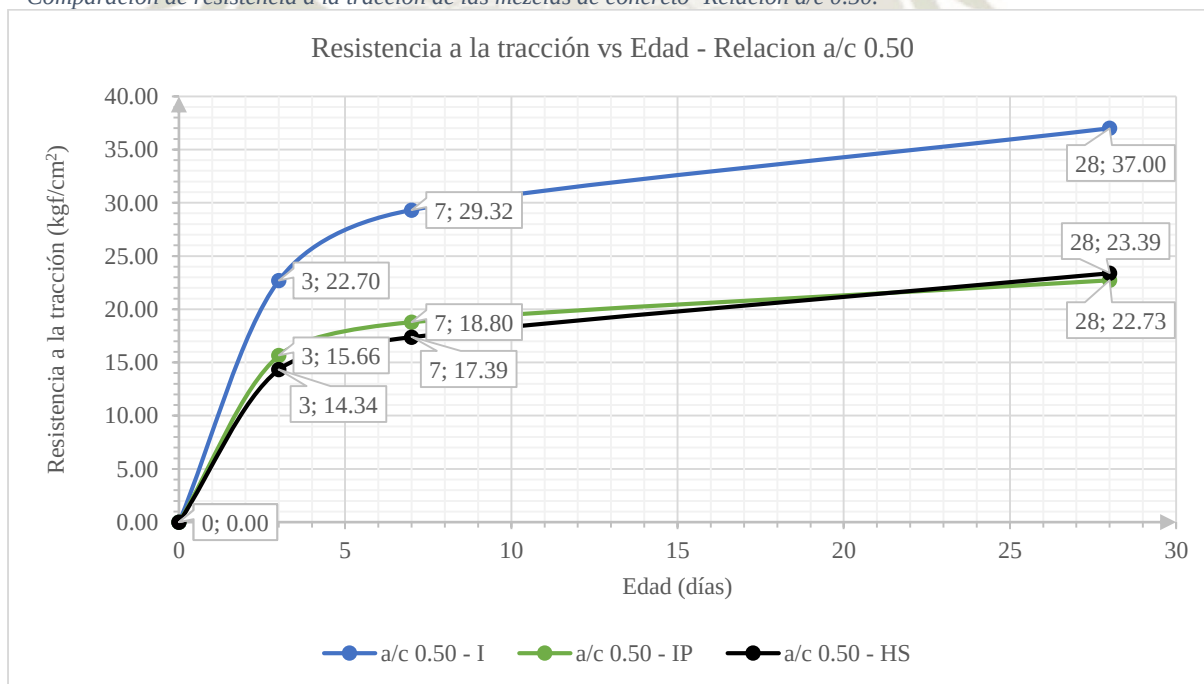
Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.55.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 44:

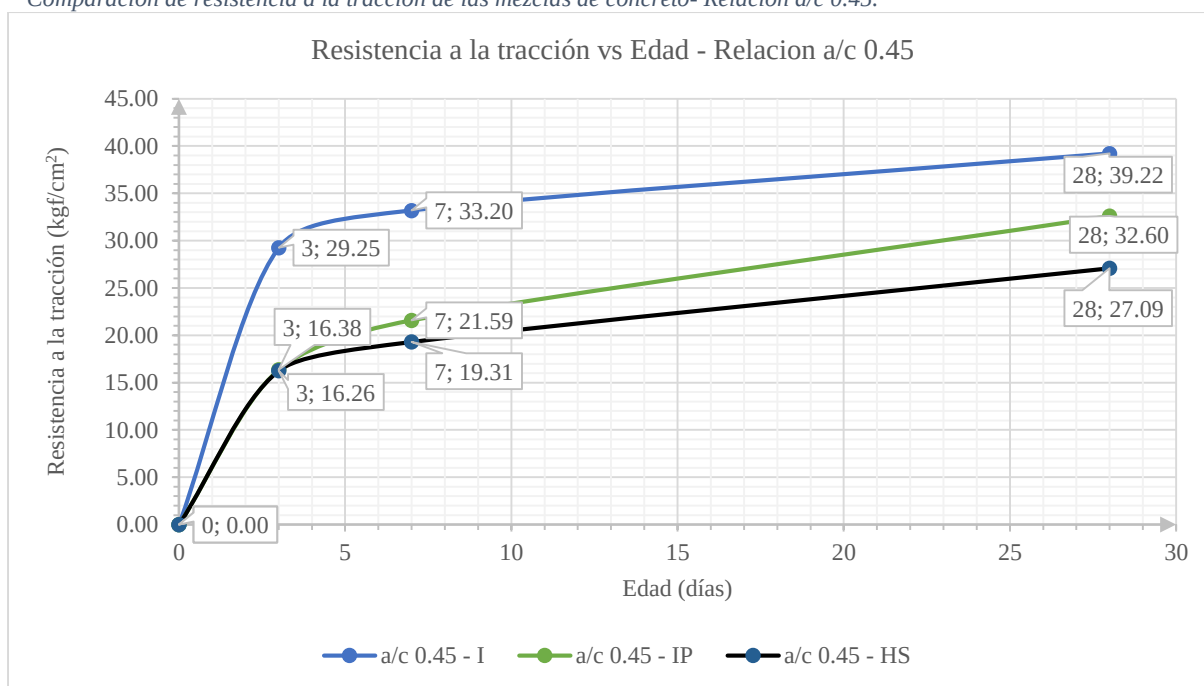
Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.50.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 45:

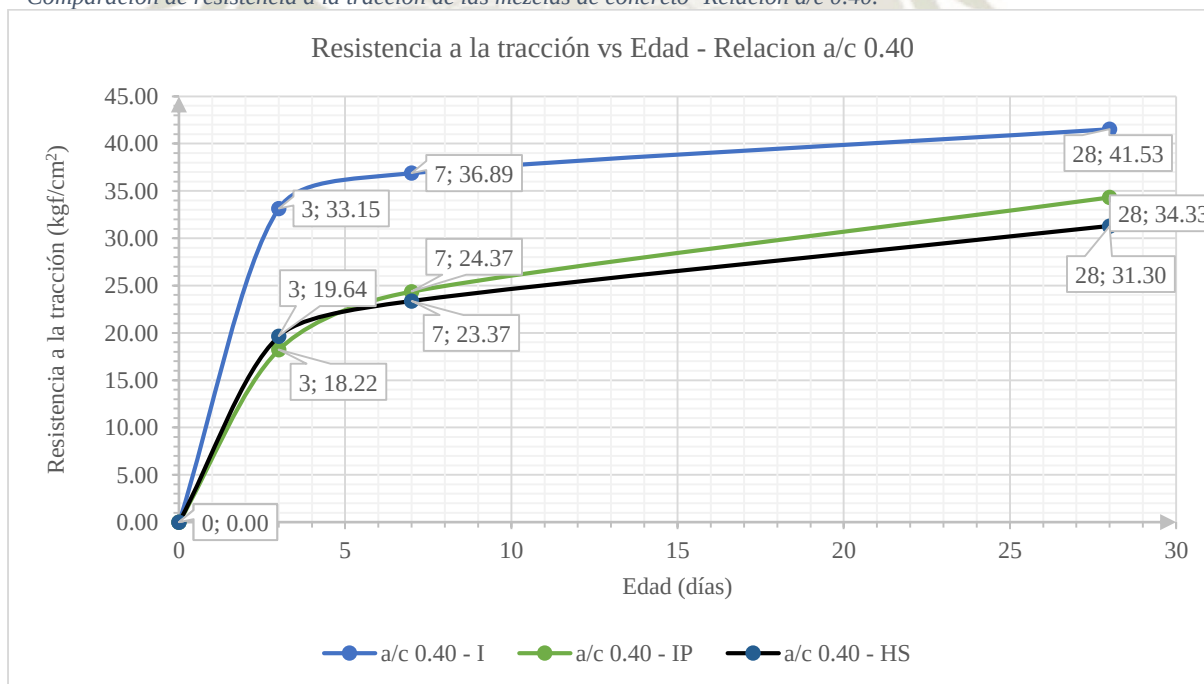
Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.45.



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 46:

Comparación de resistencia a la tracción de las mezclas de concreto- Relación a/c 0.40.



Fuente: Elaboración propia.

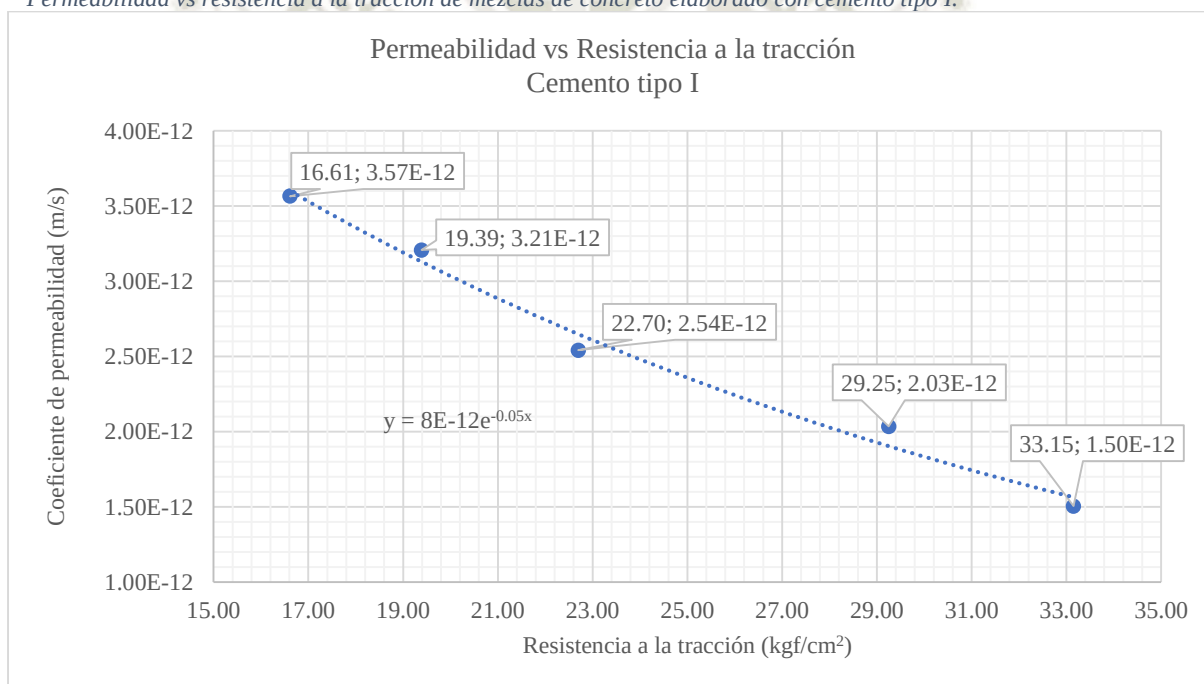
En todas las relaciones agua/cemento consideradas, las mezclas elaboradas con cemento tipo I presentan una resistencia a la tracción elevada, esta desigualdad es de un 20% a 70%, a diferencia de la resistencia a la compresión, la variación no aumentara conforme aumente la relación agua/cemento.

Los cementos tipo IP y HS generarán resistencias muy parecidas en relaciones agua/cemento 0.50 y 0.55.

4.3.3.4.2 Análisis de la permeabilidad en la resistencia a la tracción del concreto.

Ilustración 47:

Permeabilidad vs resistencia a la tracción de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I.



Fuente: Elaboración propia.

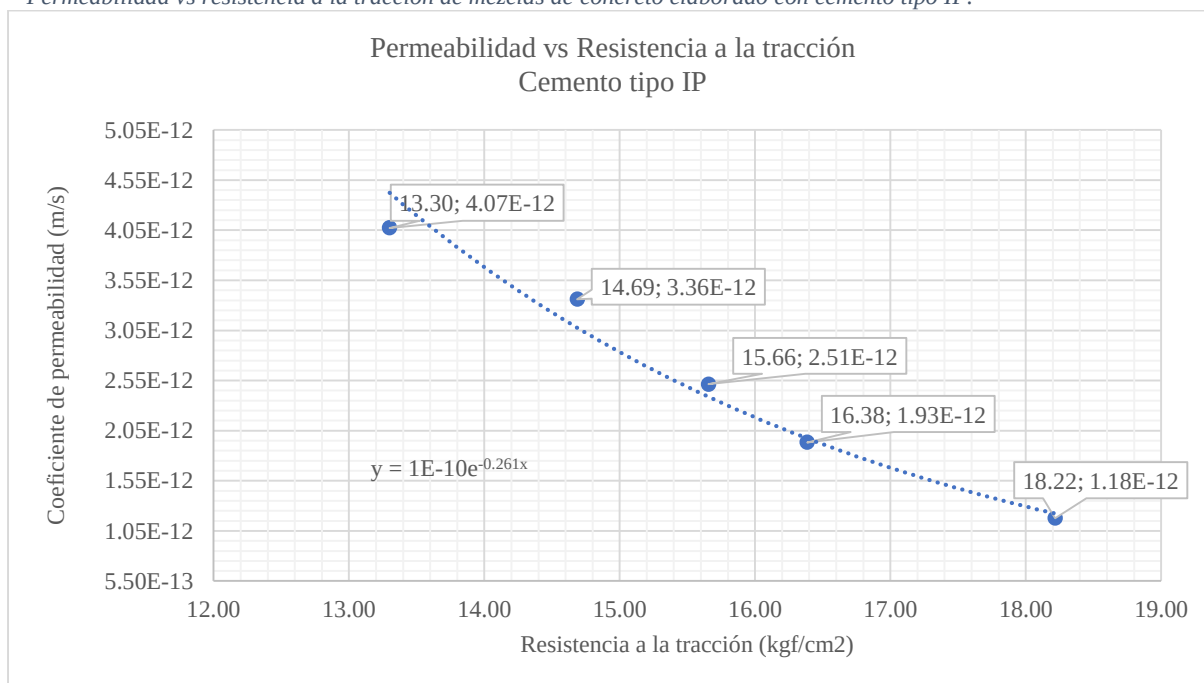
Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo I presenta valores de permeabilidad desde los 3.57E-12 m/s para una resistencia a la tracción de 16.61 kgf/cm² hasta 1.50E-12 m/s para una resistencia a la tracción de 33.15 kgf/cm², estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 8E - 12e^{-0.05x} \quad (40)$$

Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

Ilustración 48:

Permeabilidad vs resistencia a la tracción de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo IP.



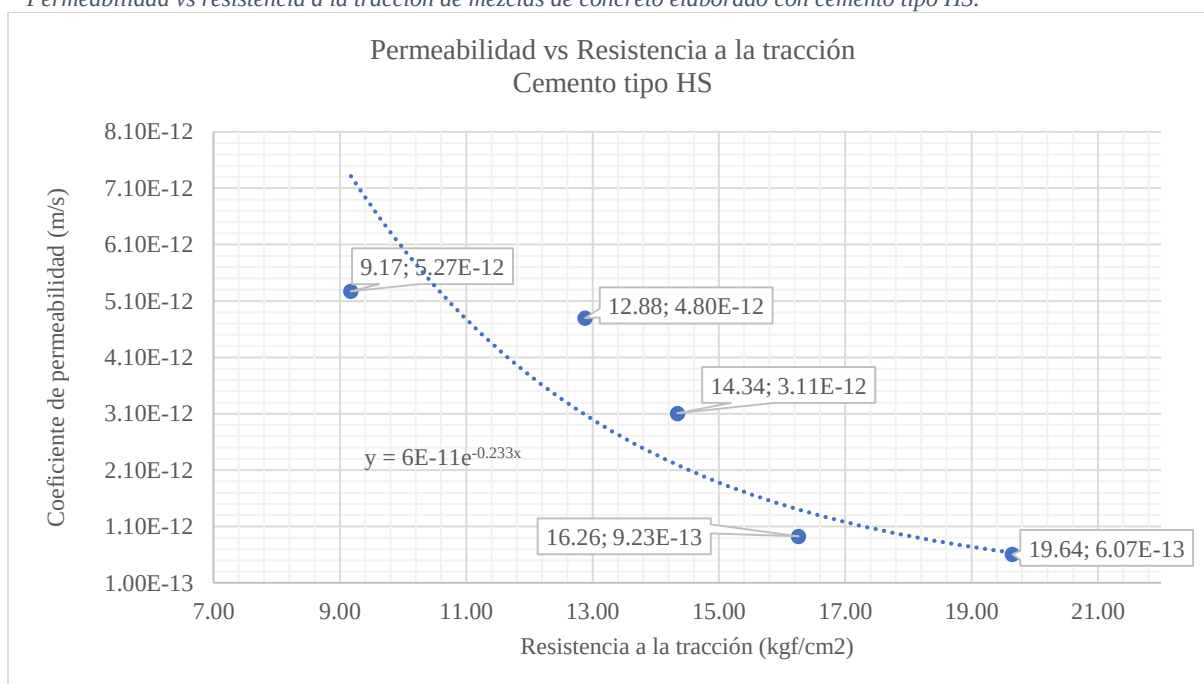
Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo IP presenta valores de permeabilidad desde los 4.07E-12 m/s para una resistencia a la tracción de 13.30 kgf/cm² hasta 1.18E-12 m/s para una resistencia a la tracción de 18.22 kgf/cm², estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 1E - 10e^{-0.261x} \quad (41)$$

Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

Ilustración 49:
Permeabilidad vs resistencia a la tracción de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo HS.



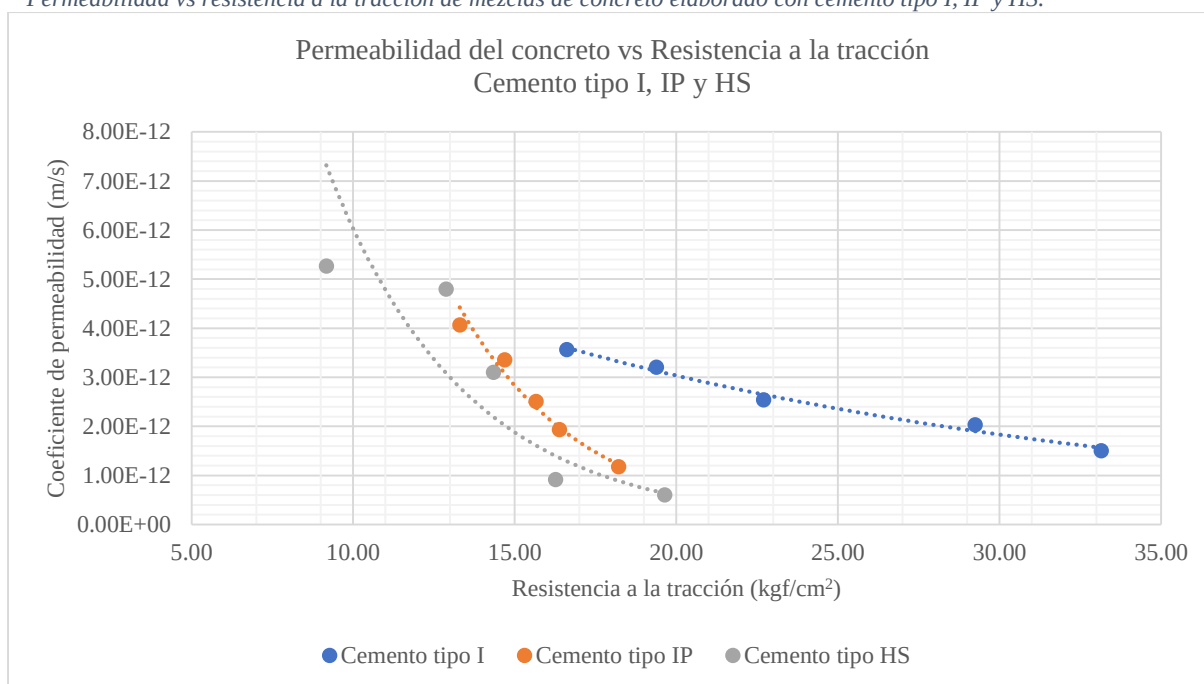
Fuente: Elaboración propia.

Las mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo IP presenta valores de permeabilidad desde los 5.27E-12 m/s para una resistencia a la tracción de 9.17 kgf/cm² hasta 6.07E-13 m/s para una resistencia a la tracción de 19.64 kgf/cm², estos valores se reducen gradualmente siguiendo una línea tendencia que presenta la siguiente ecuación.

$$y = 6E - 11e^{-0.233x} \quad (42)$$

Esta ecuación puede ser utilizada para concretos elaborados bajo las mismas condiciones de la presente investigación.

Ilustración 50:
Permeabilidad vs resistencia a la tracción de mezclas de concreto elaborado con cemento tipo I, IP y HS.



Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a la tracción y la permeabilidad son valores inversamente proporcionales, sin embargo, una alta resistencia a la tracción no siempre significa una menor permeabilidad, esto puede ser comprobado en el gráfico mostrado anteriormente. A pesar de que las mezclas realizadas con cemento tipo I presenten resistencias a la tracción elevadas, su permeabilidad puede ser la misma que concretos de menor resistencia a la tracción elaborados con cementos tipo IP y HS. Esto se debe a las distintas adiciones presentes en los cementos tipo IP y HS, tales como la puzolana, esta reduce la permeabilidad del concreto mas no genera un valor agregado en la resistencia a la tracción del mismo.

En la presente investigación, el cemento tipo HS nos proporciona concretos de baja permeabilidad arrojando valores de resistencia a la tracción menores que las mezclas elaboradas con cemento tipo I y IP.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

SEGÚN OBJETIVOS

1. Se elaboró la propuesta de norma técnica “Ensayo de permeabilidad al agua del concreto” la cual brindará un nuevo parámetro de estudio para mejorar el control de las propiedades durables del concreto, sobre todo en aquellos que estén expuestos a agentes dañinos, así mismo, la implementación de dicho ensayo en los laboratorios de la Universidad Católica de Santa María contribuirá con el avance tecnológico e investigativo de los alumnos y docentes.
2. Se realizó un cuadro comparativo sobre los parámetros de durabilidad solicitados en las normativas de los países Perú, Estados Unidos, Argentina, Colombia y Chile, el cual permitió detectar que la norma peruana vigente no contempla el ensayo de permeabilidad del concreto, así como otros parámetros reguladores referidos a la profundidad de penetración y absorción del concreto.

Por otro lado, las normas de Chile y Argentina presentan un mayor desarrollo en los parámetros de durabilidad, una clasificación detallada acompañada de valores conservadores.

Todas las normas latinoamericanas son una adaptación de la norma estadounidense, la norma peruana y colombiana en su totalidad mientras que la norma argentina y chilena de forma parcial, estas dos últimas normas presentan variaciones en su clasificación, valores y parámetros solicitados.

3. Se realizó la “Guía de permeabilidad del concreto” que contiene datos teóricos de esta propiedad, un manual de utilización de la máquina de permeabilidad, resultados relevantes obtenidos en la presente investigación y recomendaciones afines. Este

documento servirá como base teórica y experimental para consulta en el ámbito profesional y académico.

4. Se realizó la capacitación sobre el ensayo de permeabilidad al agua, la cual fue brindada al jefe de prácticas del curso “Tecnología del concreto” y al personal del laboratorio de suelos y concreto de la Universidad Católica de Santa María, esta permitirá una futura capacitación a los alumnos de dicho curso y la incorporación del ensayo como servicio a terceros.
5. Se realizaron diseños de mezclas de prueba para obtener asentamientos en el rango de 3.5” a 5” esto garantizará tener mezclas de concretos con una buena consistencia y trabajabilidad.
6. El peso unitario del concreto dependerá de la relación agua/cemento y del tipo de cemento utilizado.

El peso unitario se incrementa al reducir la relación agua/cemento.

La utilización de cementos con adición de puzolana (tipo IP y HS) contribuirá con el aumento del peso unitario.

El cemento tipo HS presenta mayor peso unitario a comparación del cemento tipo I y IP.

7. La temperatura del concreto en estado fresco dependerá de la temperatura del agua de mezcla, del tipo de cemento utilizado y de las condiciones climáticas.

Se obtuvieron temperaturas en estado fresco dentro de los límites mencionados en la norma peruana (10° C – 31°C).

8. Se obtuvieron gráficas y ecuaciones que nos permitirán calcular un valor de permeabilidad según la relación agua/cemento y el tipo de cemento a utilizarse, esta información podrá ser tomada como referencia en el diseño de mezclas por durabilidad.

9. Los concretos elaborados con cemento tipo I presentan la menor permeabilidad en mezclas con relaciones agua/cemento 0.60 y 0.55.

Los concretos elaborados con cemento tipo HS presentan la menor permeabilidad en mezclas con relaciones agua/cemento 0.45 y 0.40.

Los concretos elaborados con cemento tipo IP no presentarán permeabilidades máximas o mínimas a comparación de los cementos tipo I y HS.

10. En todas las relaciones agua/cemento consideradas, las mezclas elaboradas con cemento tipo I presentan una resistencia a la compresión elevada, esta diferencia excede en un 41% a 67%, la variación aumentará conforme aumente la relación agua/cemento.

Los cementos tipo IP y HS generarán resistencias muy parecidas en todas las relaciones agua/cemento a excepción de 0.60, en la cual el cemento IP tendrá una resistencia a la compresión mayor en un 32.67%.

11. La resistencia a la compresión y la permeabilidad son valores inversamente proporcionales, sin embargo, una alta resistencia a la compresión no significa una menor permeabilidad, esto puede ser comprobado en la Ilustración 35.

La utilización de cementos con adición de puzolana (tipo IP y HS) contribuirá a una reducción de permeabilidad más no generará un valor agregado en la resistencia a la compresión.

Los cementos tipo IP y HS tendrán la misma permeabilidad cuando tengan una resistencia a la compresión de 230 kgf/cm^2 , bajo las condiciones mostradas en la presente investigación.

12. En todas las relaciones agua/cemento consideradas, las mezclas elaboradas con cemento tipo I presentan una resistencia a la tracción elevada, esta diferencia excede en un 20% a 70%.

Los cementos tipo IP y HS generarán resistencias muy parecidas en relaciones agua/cemento 0.50 y 0.55.

13. La resistencia a la tracción y la permeabilidad son valores inversamente proporcionales, sin embargo, una alta resistencia a la tracción no significa una menor permeabilidad, esto puede ser comprobado en la Ilustración 50.

La utilización de cementos con adición de puzolana (tipo IP y HS) contribuirá a una reducción de permeabilidad más no generará un valor agregado en la resistencia a la tracción.

GENERALES

1. Los datos de resistencia a la compresión según la relación agua/cemento proporcionados por la norma peruana E 0.60 pueden ser tomados de referencia cuando se realicen mezclas de concreto con cemento tipo IP y HS bajo las mismas condiciones que en la presente investigación.

RECOMENDACIONES

1. Para mezclas elaboradas con relaciones agua/cemento de 0.60 y 0.55, se recomienda el uso de cemento tipo I, este proporcionará una mezcla con una permeabilidad baja y una alta resistencia a la compresión y tracción.
2. Para mezclas elaboradas con relaciones agua/cemento de 0.50, se podrá utilizar cualquiera de los tres cementos (tipo I, IP o HS) ya que su permeabilidad es similar. La elección dependerá de otros factores como el tipo de exposición o el requerimiento de altas resistencias. Si la estructura está vulnerable al ataque de

- sulfatos, se recomienda el uso del cemento tipo HS, si la estructura tiene como único requerimiento la resistencia a la compresión, se recomienda el cemento tipo I.
3. Para mezclas elaboradas con relaciones agua/cemento de 0.45 y 0.40 se recomienda el uso de cemento tipo HS. Este proporcionará bajas permeabilidades y una protección adicional contra el ataque de sulfatos.
 4. Se recomienda que la norma peruana incorpore el ensayo de permeabilidad al agua del concreto.
 5. Se recomienda que la norma peruana incorpore valores límite referidos a permeabilidad del concreto y succión capilar.
 6. Se recomienda realizar toda la investigación con un mismo lote de materiales (agregados y cemento), esto evitará cambios en propiedades que conlleven a futuros errores.
 7. Se recomienda realizar el ensayo de porosidad del concreto utilizando una balanza de alta presión, ya que mínimas variaciones conllevan a diferencias considerables en los resultados.
 8. Se recomienda realizar un control de la temperatura de las piscinas de curado, ya que las variaciones de temperaturas podrían ser causantes de resultados erróneos.

PROPUESTAS DE INVESTIGACIÓN

- Se recomienda continuar con la investigación estudiando la permeabilidad de concretos elaborados con cementos de distintas marcas encontrados en la ciudad de Arequipa.
- Se recomienda continuar con la investigación estudiando la permeabilidad de concretos elaborados con cementos de distintas composiciones encontrados en la ciudad de Arequipa
- Se recomienda continuar con la investigación estudiando la permeabilidad de concretos elaborados con relaciones agua/cemento menores a 0.40 y mayores a 0.60.
- Se recomienda continuar con la investigación estudiando la permeabilidad de concretos elaborados con aditivos impermeabilizantes.
- Se recomienda continuar con la investigación estudiando la permeabilidad de concretos ensayados a distintas edades de curado.
- Se recomienda continuar con la investigación estudiando la permeabilidad de concretos que consideran distintos tipos de curado.
- Se recomienda continuar con la investigación estudiando la permeabilidad de concretos elaborados con aditivo incorporador de aire.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACI 201.2R. (2008). *Guide to durable concrete*. American Concrete Institute. Estados Unidos.

ACI 212.3R. (2010). *Report on chemical admixtures for concrete*. American Concrete Institute.

Estados Unidos.

ACI 318 -14. (2014). *Requisitos de Reglamento para concreto estructural*. Comité ACI 318.

ASTM C125. (2010). *Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates*.

ASTM INTERNATIONAL. Estados Unidos.

CIRSOC 201. (2005). *Reglamento argentino de estructuras de hormigón*. INTI.

Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de*

Concreto. Skokie, Illinois, EE.UU: Portland Cement Association.

Mehta P., Monteiro P. (1985). *CONCRETO, estructura, propiedades y materiales*. California,

Estados Unidos: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. A.C.

Neville A.M. (2013). *Tecnología del concreto*. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.

NCh 170. (2016). *Hormigón. Requisitos generales*. Instituto Nacional de Normalización.

NSR - 10. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Asociación colombiana de ingeniería sísmica.

NTP 334.005. (2018). CEMENTOS. *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland*. Dirección de Normalización – INACAL.

NTP 334.082. (2016). CEMENTOS. *Cemento Pórtland. Requisitos de desempeño*. Dirección de Normalización – INACAL.

NTP 334.090. (2016). CEMENTOS. *Cemento Pórtland adicionados, Requisitos*. Dirección de Normalización – INACAL.

NTP 339.034. (2015). CONCRETO. *Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas*. Dirección de Normalización – INACAL.

- NTP 339.035. (2015). *CONCRETO. Método de ensayo para la medición del asentamiento del concreto de cemento Pórtland*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 339.046. (2008). *HORMIGÓN (CONCRETO). Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 339.047. (2014). *CONCRETO. Definiciones y terminología relativas al concreto y agregados*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 339.084. (2012). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 339.088. (2014). *CONCRETO. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Pórtland. Requisitos*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 339.184. (2013). *CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 339.185. (2013). *AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 339.187. (2018). *CONCRETO. Método de para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en concreto endurecido*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 400.012. (2013). *AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.

- NTP 400.017. (2011). AGREGADOS. *Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso unitario”) y los vacíos en los agregados*. Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias – INDECOPI.
- NTP 400.021. (2013). AGREGADOS. *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 400.022. (2018). AGREGADOS. *Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino*. Dirección de Normalización – INACAL.
- NTP 400.037. (2018). AGREGADOS. *Agregados para concreto. Requisitos*. Dirección de Normalización – INACAL.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2009). *Norma E.060 - Concreto armado*. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción - SENCICO.
- Rivva E. (2006). *Durabilidad y patología del concreto*. Perú.
- Rivva E. (2010). *Diseño de mezclas*. Perú.
- Valenta (1970). Permeability of high-performance concrete incorporating presoaked lightweight aggregates for internal curing. En Y. BIN Ishak (Presidencia), *From the 2nd RILEM Symposium Durability of concrete*. National University of Singapore, Singapore.
- YURA. (2012). *Ficha técnica: Cemento Portland Yura Tipo I*. Perú.
- YURA. (2019). *Ficha técnica: Cemento Portland Yura Tipo HS*. Perú.
- YURA. (2019). *Ficha técnica: Cemento Portland Yura Tipo IP*. Perú.

ANEXOS

ANEXO A: PANEL FOTOGRÁFICO

Ensayo de los materiales

Peso específico del cemento HS



Ilustración 51: Peso del cemento.



Ilustración 52: Volumen inicial de petróleo.



Ilustración 53: Volumen final petróleo más cemento.

Concreto fresco



Ilustración 54: Medición de temperatura.



Ilustración 55: Molde para medición de peso unitario.



Ilustración 56: Medición de Slump.

Concreto endurecido

Permeabilidad

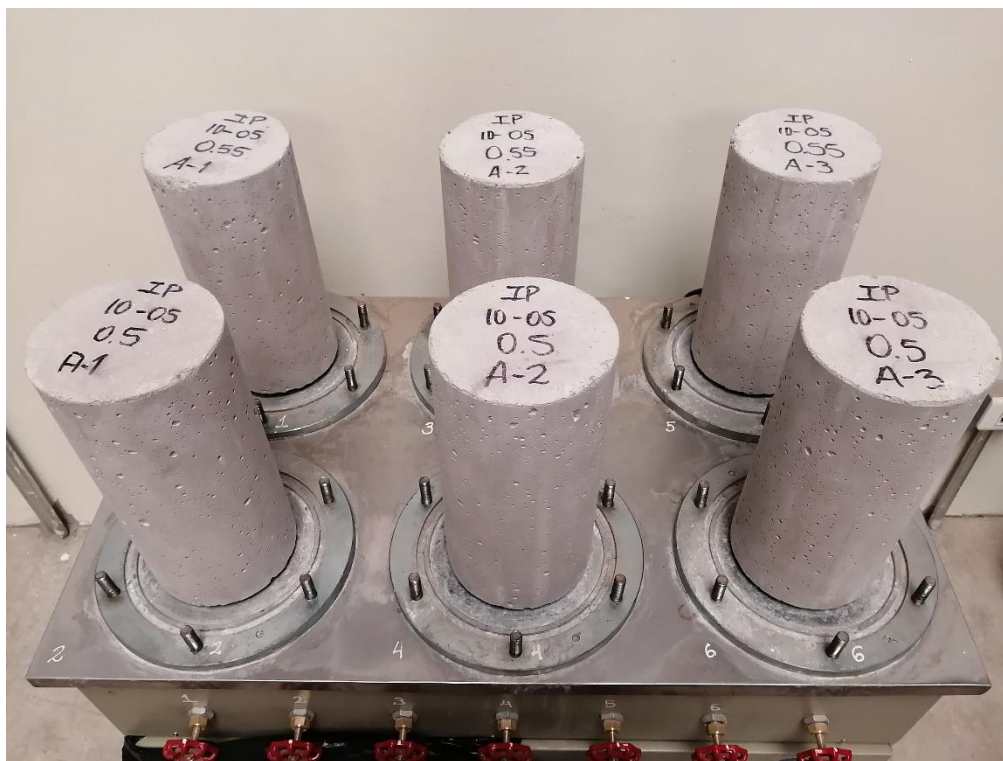


Ilustración 57: Probetas a ser ensayadas por permeabilidad.



Ilustración 58: Ensayo de permeabilidad.



Ilustración 59: Probetas ensayadas.



Ilustración 60: Probeta ensayada por permeabilidad.



Ilustración 61: Medición de base de concreto húmedo.



Ilustración 62: Probetas ensayadas por permeabilidad.

Compresión



Ilustración 63: Probetas en pozo de curado.



Ilustración 64: Falla por compresión.



Ilustración 65: Probetas fracturadas.

Tracción



Ilustración 66: Falla por tracción.

Capacitación a personal del laboratorio de la Universidad Católica de Santa María



Ilustración 67: Clase de explicación previa.



Ilustración 68: Explicación en laboratorio.



Ilustración 69: Preparación del ensayo de permeabilidad.



Ilustración 70: Ensayo de permeabilidad al concreto.

ANEXO B: PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA

PROPUESTA DE NORMA TÉCNICA PERUANA

2018

Arequipa, Perú

CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la permeabilidad del concreto al agua.

CONCRETE. Standard test method for determining permeability of concrete to wáter.

Esta propuesta de Norma Técnica Peruana está basada en la norma UNE – EN 12390 -8 Profundidad de penetración de agua bajo presión. NTC 4483 Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua. NCh 2262.Of97 Determinación de la impermeabilidad al agua – Método de penetración de agua bajo presión.

2019-07-19

1° Edición

Descriptores: Hormigón, concreto, permeabilidad.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE	ii
1 Objeto	1
2 Referencias normativas	1
3 Campo de aplicación	2
4 Aparatos	2
5 Especímenes de ensayo	3
6 Procedimiento	3
7 Informe	5

CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la permeabilidad del concreto al agua.

1. Objeto

Esta propuesta de Norma Técnica Peruana establece el procedimiento para determinar el coeficiente de permeabilidad del concreto al agua (K).

2. Referencias normativas

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

2.1. Normas técnicas peruanas

NTP 339.183:2013 (revisada el 2018)	CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.
NTP 339.034:2015	CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en campo
NTP 339.059:2017	CONCRETO. Método para la obtención y ensayo de corazones diamantinos y vigas seccionadas de concreto. 4° Edición.
NTP 339.084:2012 (revisada el 2017)	CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a tracción simple del concreto, por compresión diametral de una probeta cilíndrica.

NTP 339.187:2018 CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el concreto endurecido.

2.2. Normas técnicas de asociación

UNE – EN 12390-8 Ensayos de hormigón endurecido. Profundidad de penetración de agua bajo presión.

NTC 4483 Concretos. Método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua.

NCh 2262 Hormigón y mortero – Métodos de ensayo – Determinación de la impermeabilidad al agua – Método de penetración de agua bajo presión.

3. Campo de aplicación.

3.1. Esta propuesta de Norma Técnica Peruana se aplica para medir el coeficiente de permeabilidad del concreto al agua (K) de especímenes elaborados en laboratorio, obra y testigos diamantinos.

4. Aparatos

4.1. **Equipo de ensayo:** Se utilizará cualquier equipo en el que se pueda situar de manera hermética una probeta de concreto, de preferencia de forma cilíndrica de 15mmx300mm. Esta máquina deberá incorporar agua a presión controlada por una de las caras de la probeta, se recomienda la cara inferior. Entre la probeta de concreto y el punto de salida de agua a presión se colocará un anillo de goma plano de 75 mm de diámetro que delimitará la zona de ensayo o área en la cual estará aplicada la presión. La probeta deberá estar sujeta de tal forma que no existan filtraciones entre la probeta y el equipo, para lo cual se utilizarán soportes que brinden el ajuste necesario. Se recomienda colocar una almohadilla de neopreno entre la probeta y los soportes, esta mejorará el contacto y a la vez reducirá la posibilidad de grietas por presión.

4.2. **Máquina de compresión:** Según lo especificado en la norma NTP 339.084.

4.3. **Balanza:** Una balanza con sensibilidad de 0.5 gf.

- 4.4. **Vernier:** Utilizado para medir la profundidad de penetración de manera precisa.
- 4.5. **Cepillo metálico:** Utilizado para preparar la zona de ensayo.
- 4.6. **Horno:** Debe mantener una temperatura constante de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
5. **Especímenes de ensayo**
 - 5.1. Se considerarán tres especímenes de modo que se pueda eliminar el valor de uno ellos en caso el ensayo arroje un resultado disperso.
 - 5.2. El ensayo se realizará con especímenes cilíndricos, prismáticos o cúbicos.
 - 5.3. Los especímenes serán elaborados según lo especificado en la norma NTP 339.183 NTP 339.034 o NTP 339.059.
 - 5.4. Los especímenes no tendrán un diámetro o longitud de base menor a 150 mm.
 - 5.5. Los especímenes no tendrán una altura menor a 100 mm.
 - 5.6. Los especímenes tendrán una relación mínima altura/arista de 0.5.
 - 5.7. Los especímenes deberán ser curados en agua durante 28 días como mínimo. No es recomendable el ensayo de especímenes de edades tempranas ya que no han desarrollado una suficiente resistencia mecánica y la alta presión insertada podría generar micro fisuras obteniendo resultados erróneos de permeabilidad.
6. **Procedimiento**
 - 6.1. **Preparación de espécimen**
 - 6.1.1. Secar los especímenes en horno a $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 24 horas como mínimo, esto mejorará la visibilidad del área de agua penetrada. Para concretos con relaciones agua/cemento menores de 0.5, el tiempo de secado deberá ser mayor a 24 horas.
 - 6.1.2. Determinar las dimensiones de los especímenes en estado seco.
 - 6.1.3. Determinar la masa de los especímenes en estado seco.
 - 6.1.4. Retirar la capa superficial de cemento y/o mortero del área en la que se aplicará el agua a presión, esto se ejecutará raspando la superficie con ayuda de un cepillo metálico. Esta capa generalmente tiene propiedades distintas a las del interior del espécimen.
 - 6.1.5. Cubrir la superficie lateral y el resto de área de la cara sobre la que se aplicará el agua a presión con una capa gruesa de material de sellado, este puede ser una cobertura epóxica o pasta de cemento.

6.2. Aplicación de agua a presión

- 6.2.1. Los especímenes serán ajustados a la máquina de manera que el agua a presión quede atrapada por el anillo de goma y no exista ningún tipo de filtración.
- 6.2.2. Aplicar una presión de 1MPa un tiempo de 96 horas. Durante el proceso se verificará que no haya existencia de algún tipo de fuga de agua o pérdida de presión.
- 6.2.3. Inmediatamente después de las 96 horas, dividir los especímenes de forma perpendicular a la cara en la que se aplicó el agua a presión mediante métodos que no alteren la humedad del espécimen. Si los especímenes son cilíndricos, se tomará en cuenta la norma NTP 339.084.
- 6.2.4. Dibujar el borde de la zona en la que penetró el agua. Este procedimiento se realizará en ambas mitades.
- 6.2.5. Medir la longitud de la base del área húmeda y la altura máxima de penetración con ayuda del vernier de precisión. Este procedimiento se realizará en ambas mitades.
- 6.2.6. Tomar una fotografía de ambas mitades juntas en la cual se deberá considerar una vista de planta. La fotografía contendrá un rótulo con el código de la probeta.

6.3. Determinación del coeficiente de permeabilidad (K).

- 6.4.1 Para el cálculo del coeficiente de permeabilidad se tomará en cuenta la siguiente ecuación.

$$K = \frac{e^2 v}{2ht} \quad (1)$$

En la cual

- e Profundidad de penetración de agua media (m).
- h Presión aplicada (m.c.a).
- t Tiempo de duración del ensayo (345600 segundos).
- v Porosidad calculada según la NTP 339.187.

- 6.4.2. Ya que la fórmula considera profundidad de penetración media, esta será calculada de la siguiente manera.
 - 6.4.2.1. La fotografía mencionada en el acápite 6.2.6. será escalada mediante algún programa digital con el fin de calcular el área y base de la zona húmeda.
 - 6.4.2.2. La profundidad media se calculará con la siguiente ecuación.

$$e = \frac{\text{área de la zona húmeda}}{\text{longitud de la base de la zona húmeda}} \quad (2)$$

7. Informe

7.1. El informe debe considerar lo siguiente.

- Fecha de ensayo.
- Hora de ensayo.
- Tiempo de ensayo (345600 segundos).
- Presión utilizada en el ensayo (101.97 m.c.a.).
- Porosidad de la mezcla de concreto.

Se deberá tener los siguientes datos de por lo menos 3 especímenes.

- Código de identificación.
- Forma.
- Dimensiones.
- Peso seco.
- Diámetro.
- Longitud.
- Volumen.
- Densidad

Se deberá tener los siguientes datos de ambas mitades de cada espécimen.

- Penetración máxima.
- Longitud de la base.
- Área húmeda.
- Penetración media.
- Penetración media.
- Coeficiente de permeabilidad.
- Observaciones.

Y como resultado final, producto del promedio de los tres especímenes.

- Coeficiente de permeabilidad.

7.2. Adicionalmente se brinda un cuadro que contiene lo solicitado en el acápite 7.2.

Ensayo de permeabilidad al agua									
Fecha de ensayo									
Hora de ensayo									
Tiempo de ensayo (s)	345600								
Presión (m.c.a.)	101.97								
Porosidad (%)									
Espécimen	Espécimen 1			Espécimen 2			Espécimen 3		
Código									
Forma									
Dimensiones (cm)									
Peso Seco (kgf)									
Diámetro (cm)	D1	D2	D3	D1	D2	D3	D1	D2	D3
Longitud (cm)	L1		L2	L1		L2	L1		L2
Volumen (cm3)									
Densidad (kgf/cm3)									
Penetración máxima (cm)	Izquierda		Derecha	Izquierda		Derecha	Izquierda		Derecha
Longitud de base (cm)	Izquierda		Derecha	Izquierda		Derecha	Izquierda		Derecha
Área húmeda (cm2)	Izquierda		Derecha	Izquierda		Derecha	Izquierda		Derecha
Penetración Media (cm)	Izquierda		Derecha	Izquierda		Derecha	Izquierda		Derecha
Penetración Media (cm)									
Coeficiente de permeabilidad (m/s)									
Observaciones									
Coeficiente de permeabilidad (m/s)									

ANEXO C: FICHAS TÉCNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

VERSIÓN: 2012 - CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I

CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I



DESCRIPCIÓN:



El Cemento Portland Yura Tipo I, es elaborado con Clinker de Alta Calidad y Yeso, molidos industrialmente hasta lograr un alto grado de finura. Cumple con la norma NTP 334.009 y la ASTM C150. Su fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001.

USOS Y APLICACIONES

El cemento portland Yura tipo I, puede ser utilizado en todo tipo de construcción, que no requiera de propiedades especiales.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

REQUERIMIENTOS QUÍMICOS	CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I	NORMA TÉCNICA NTP 334.009 - ASTM C150
Óxido de Magnesio, MgO, %	2.55	6.00 Máximo
Tríóxido de Azufre, SO ₃ , %	2.10	3.00 Máximo
Pérdida por Ignición o al Fuego, P.F. %	0.60	3.00 Máximo
Residuo Insoluble, R.I. %	0.55	0.75 Máximo

REQUERIMIENTOS FÍSICOS	CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I	NORMA TÉCNICA NTP 334.009 - ASTM C150
Finura(Superficie Específica - Blaine), cm ² /g	3150	2600 Mínimo
Expansión en Autoclave, %	0.07	0.80 Máximo
Tiempo de Fraguado, Ensayo Vicat, minutos		
Tiempo de Fraguado (Inicial)	140	45 Mínimo
Tiempo de Fraguado (Final)	160	420 Máximo
Contenido de Aire del mortero, %	5.55	12.00 Máximo
Resistencia a la compresión, Kgf/cm ²		Mínimo:
01 día	135	-
03 días	240	122.36
07 días	330	193.75
28 días	430	-

EL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA Y DURABILIDAD

VERSIÓN: 2012 - CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I

CEMENTO PORTLAND YURA TIPO I



PRESENTACIONES DISPONIBLES

- Bolsa 42.5 kg Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
- Big Bag 1.0 TM Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
- Big Bag 1.5 TM Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
- Granel Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corrientes de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas de altura en 2 pallet de altura.

RECOMENDACION DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Galetes
Impermeables



Protección
Ocular



Botas
Impermeables



Protección
Respiratoria

EL CEMENTO DE ALTA RESISTENCIA Y DURABILIDAD



DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

DURABILIDAD

"Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil".

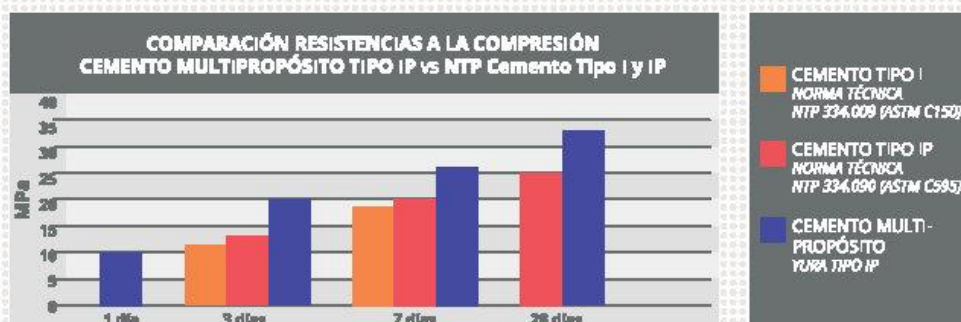
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.000 ASTM C-595			
REQUISITOS QUÍMICOS						
MgO (%)	1.5 a 2.4		6.00 Máx.			
SO ₃ (%)	1.5 a 2.3		4.00 Máx.			
Pérdida por Ignición (%)	1.5 a 3.8		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm ³)	2.77 a 2.85		-			
Expansión en autoclave (%)	-0.05 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat Inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx.			
Resistencia a la compresión						
	kgf/cm ²	Mpa	kgf/cm ²	Mpa	kgf/cm ²	Mpa
1 día	80 a 104	7.8 a 10.2	-	-	-	-
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Mín.	13	122 Mín.	12
7 días	225 a 260	22.0 a 25.4	204 Mín.	20	194 Mín.	19
28 días	306 a 350	30.0 a 34.3	255 Mín.	25	-	-
Resistencia a la tracción						
	%		%			
% Expansión a los 6 meses	< 0.021%		0.05 Máx.			
% Expansión a 1 año	< 0.023%		0.10 Máx.			

YURA

FICHA TÉCNICA / Versión 2019

COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS



PROPIEDADES

1 ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolanas, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

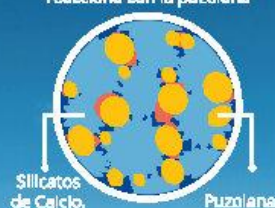
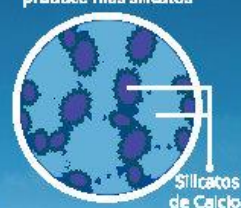
Los aluminosilicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

CON CEMENTO TIPO I

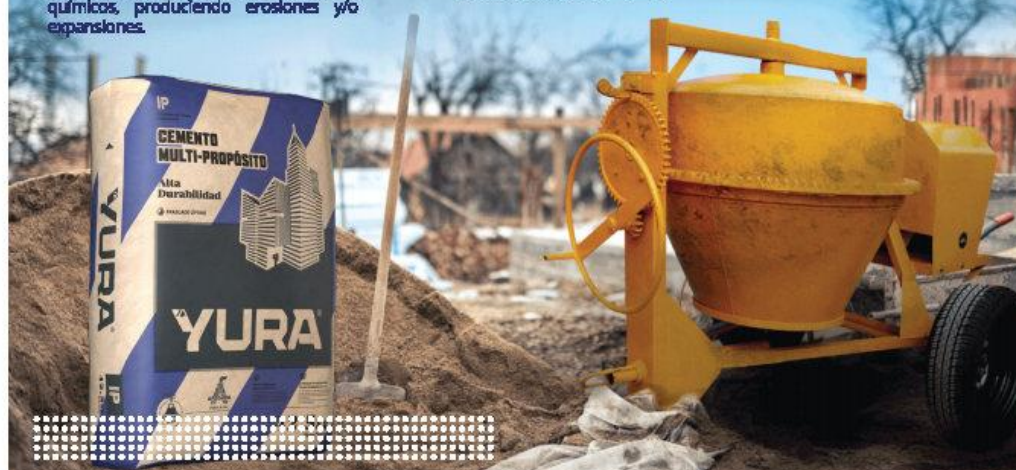


El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP

Hidróxido de calcio
reacciona con la puzolana

Reacción puzolánica
produce más silicatos


La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.



YURA

2 RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS

El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio deshidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es resistente a los sulfatos, cloruros y al ataque químico de otros iones agresivos.

Resultados de laboratorio demuestran que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.



3 MAYOR IMPERMEABILIDAD

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los aluminosilicatos de la puzolana con los hidróxidos de calcio producidos en la hidratación del cemento, disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace más impermeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

4 REDUCE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali - agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos.

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.



RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:

BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor consumo energético.
- Cemento fabricado con menor emisión de CO₂.



Botas
Impermeables



Protección
Respiratoria



Guantes
Impermeables



Protección
Ocular

FICHA TÉCNICA / Versión 2018

YURA

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.



PRESENTACIONES DISPONIBLES

Bolsas 25 Kg	Ergonómico. Ideal para proyectos pequeños y pocas áreas de almacenamiento.
Bolsas 42.5 Kg	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
Big Bag 1.0 TM	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
Big Bag 1.5 TM	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
Granel	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAÍS	NORMA	DENOMINACIÓN
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.090	Cemento Portland Pozolánico TIPO IP
NORMA CHILENA	NCh 148 OF.68	Cemento Pozolánico GRADO CORRIENTE
NORMA AMERICANA	ASTM C595	Portland Pozzolan Cement TYPE IP
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Pozolánico TIPO P 30
NORMA ECUATORIANA	NTE INEN 490	Cemento Portland Pozolánico TIPO IP
NORMA BRASILEÑA	NBR 5756	Cimento Portland pozolánico TIPO CP IV 32
NORMA COLOMBIANA	NTC 121 - 321	Cemento Portland TIPO 1

DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.

YURA



Cuidemos juntos el medio ambiente.
Big Bag: Se sugiere desechar como basura común.
Bolsas: Se sugiere reciclar el envase.





DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO ANTI-SALITRE DE ULTRA IMPERMEABILIDAD YURA HS cuenta con diversas propiedades para su utilización en todo tipo de construcciones de concreto, expuestas a zonas húmedas, brisa marina, suelos salitrosos, alta presencia de sulfatos y cloruros y otros ataques químicos.

Resistencia
al salitre

Protege al concreto del ataque de sulfatos salitre, cloruros y agua de mar.

Impermea-
bilidad

La adición de puzolana disminuye la porosidad capilar, logrando una mayor impermeabilidad, protegiendo el acero que se encuentra en el interior de la construcción.

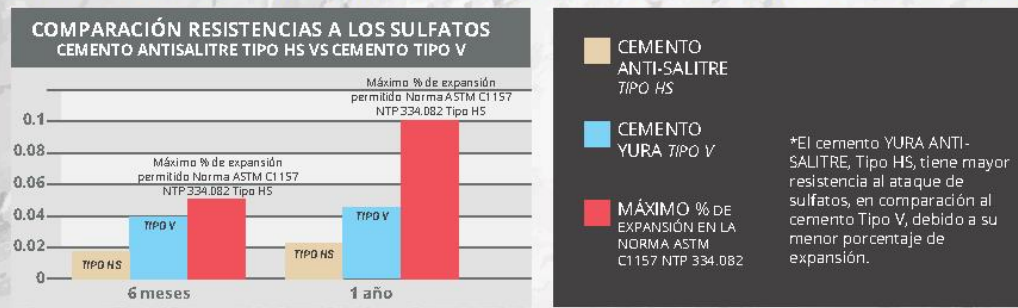
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS FÍSICOS			Requisitos Norma Técnica NTP 334.082 ASTM C 1157		CEMENTO ANTI-SALITRE YURA TIPO HS	
Peso específico (gr/cm³)				-		2.70 a 2.80
Superficie específica Blaine (cm²/gr)				-		4700 a 5200
Expansión en autoclave (%)			0.80 Máximo			-0.07 a -0.02
Fraguado Vitcat inicial (minutos)			45 a 420			190 a 270
Contenido aire Mortero (%)			12 Máximo			3.0 a 7.0

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	NTP Kgf/cm²	MPa	CEMENTO ANTI-SALITRE Kgf/cm² MPa		RESISTENCIA A LOS SULFATOS	NTP % de Expansión	CEMENTO ANTI-SALITRE % de Expansión
1 día	-	-	70 a 95	6.9 a 9.3	6 meses	0.05 máximo	< 0.020
3 días	112	11	165 a 200	16.2 a 19.6	1 año	0.10 máximo	< 0.022
7 días	184	18	210 a 230	20.6 a 22.5			
28 días	255	25	280 a 320	27.4 a 31.4			

El cemento Yura ANTI SALITRE, TIPO HS, supera AMPLIAMENTE las resistencias al ataque de sulfatos del cemento tipo V y las indicaciones en la norma NTP 334.009 (ASTM C150) por lo que reemplaza a tipo V, donde esté especificado técnicamente.

EQUIVALENCIA O CARACTERÍSTICAS SIMILARES A OTROS TIPOS DE CEMENTOS



PROPIEDADES

EL CEMENTO YURA ANTI-SALITRE TIPO HS, por su formulación especial, proporciona al concreto las siguientes propiedades:

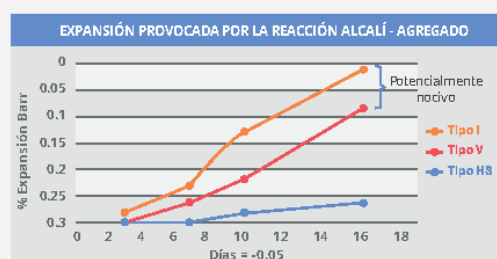
- Alta resistencia al ataque de sulfatos.
- Aumento de impermeabilidad.
- Resistencia a los cloruros.
- Menor calor de hidratación.
- Inhibe la reacción nociva álcali - agregado.

INHIBE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali - agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos. El ensayo de expansión de mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos. EL CEMENTO YURA ANTI-SALITRE TIPO HS, cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.

ENSAYO DE COMPROBACIÓN DEL CEMENTO YURA ANTI-SALITRE TIPO HS QUE INHIBE LA REACCIÓN ÁLCALI-AGREGADO

Comparación de potencial de reactividad alcalina de los cementos tipos I, V y HS según método de la norma ASTM C1260-07



EL CEMENTO YURA ANTI-SALITRE TIPO HS neutraliza esta reacción protegiendo al concreto contra este tipo de ataque.

Días	% Expansión Barr		
	Cemento tipo I	Cemento tipo V	Cemento tipo HS
3 días	0	0.01	0
7 días	0.03	0.07	0
10 días	0.08	0.16	0.01
16 días	0.21*	0.28*	0.02**

*Los cementos tipo I y V presentan un porcentaje de expansión de 0.20 a los 16 días lo cual se les considera potencialmente dañino.

**Bajo riesgo de expansión en condiciones de campo.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Botas Impermeables



Protección Respiratoria



Guantes Impermeables



Protección Ocular

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

PRESENTACIONES DISPONIBLES

Bolsas 42.5 Kg	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
Big Bag 1.0 TM	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
Big Bag 1.5 TM	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
Granel	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

NORMAS TÉCNICAS

EL CEMENTO YURA ANTI SALITRE, cumple con la norma internacional ASTM C1157 y la Norma Peruana NTP 334.082.

DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.



GAIA Nanosílice

Adicionante a cementos para
concretos de altas prestaciones

Fecha de Emisión: Mar 10, 05
Revisión: 11
Fecha de Revisión: Ago 26, 16
Página 1 de 1

Ulmen S.A. Adicionante a Cementos

Descripción

GAIA Nanosílice es el primer adicionante base nanosílice generado durante 2004 por la sinergia Scitech Cognoscible / Ulmen.

Pertenece a la línea GAIA NANOSILICE, donde las reacciones químicas en el hormigón convierten las nanopartículas de sílice en nanopartículas de cemento.

Aspectos Técnicos

Elimina el total de la sílice en polvo en cualquiera de sus alternativas, y también los superplastificantes, reduciendo al mínimo los reductores plastificantes.

Con GAIA Nanosílice se obtiene concretos de alto rendimiento : 70 MPa a R28.

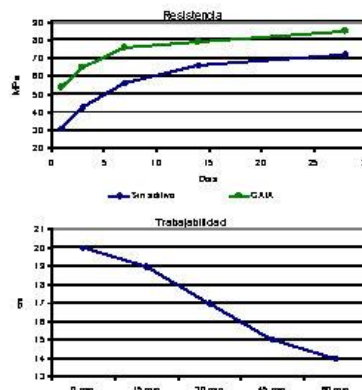
Ideal para concretos tipo "Fast Track", a usar dentro de las 24 horas posteriores al vaciado, con adecuadas dosificaciones, que permiten obtener hormigones impermeables según norma DIN 1048 o Nch 2262.

Propiedades

Consecuencia de la menor actividad operacional, menor flujo de material con la consiguiente reducción de inventario, y - - - es líquido, amigable con el medio ambiente y la salud de los trabajadores.

Duración

6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2008



H-70 con 1,5% de GAIA

Dosis

Se recomienda su uso en dosis de 0,5 a 3% en base al peso del cemento. Para dosis fuera de este rango, contacte al equipo técnico ULMEN.

Presentación

Bidón plástico de 230 Kg.
Contenedor retornable de 1.000 kg

Propiedades Físicas

Aspecto : Líq. Levemente viscoso.
Color : Blanco
Densidad : $1,032 \pm 0,004$ g/mL
pH : 5 ± 1
Viscosidad : 14 ± 1 (s) (C.Ford Nº4)

Clasificación

Gaia Nanosilice no tiene clasificación normada, sin embargo cumple como aditivo superplastificante tipo F, según NCh 2182-2010

Lautaro # 2430 – Tel. (56-2) 28973468 – (56-2) 25952838 – La Pintana
Santiago – Chile

www.cognoscibletechnologies.com

www.ulmen.cl

atencionalcliente@ulmen.cl



Fabricación y Comercialización de Aditivos para Concretos

CERTIFICADO DE CALIDAD

El departamento de Control de Calidad de Industrias ULMEN S.A., certifica que el producto identificado a continuación cumple los requisitos de uniformidad indicados en la tabla 7 de la norma NCh 2182 of 95 fact/ ASTM C494, y con nuestros estándares de calidad.

Producto : GAIA
Lote : 14951218
Fabricado : 13/12/2018
Vence : 13/06/2019

Los parámetros controlados se muestran a continuación

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Densidad	$1,03 \pm 0,02$ (g/mL)	1,031
Viscosidad	14 ± 1 (segundos)	13,69
pH	6 ± 1	5,1

El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenados en lugar fresco y protegido del sol, según recomendaciones por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001



Encargado control de Calidad
Industrias Ulmen S.A.

www.ulmen.cl

ulmen@ulmen.cl



HOJA DE SEGURIDAD GAIA NANOSILICE

Fecha de Emisión: Sept 18, 15
Revisión:
Fecha de Revisión:
Página 1 de 2

SECCION 1: IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DEL PROVEEDOR

Nombre del producto : **GAIA NANOSILICE**
Clasificación : Aditivo para Concretos
Vida útil : 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado
Por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001
Proveedor : INDUSTRIAS ULMEN S.A.
E-mail : atencionalcliente@ulmen.cl
Página Web : www.ulmen.cl
Fono Emergencia : (56 -2) 28543667

Toda llamada de emergencia dentro y/o fuera del país será reembolsada previa revisión



SECCION 2: COMPOSICIÓN/ INFORMACIÓN DE LOS COMPONENTES

Nombre químico : Mezcla de sales de sodio y ácidos carboxílicos.
Fórmula química : Confidencial
Nº CAS : No aplica

SECCION 3: IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS

Marca en etiqueta : Rombo NFPA
Clasificación de Salud (1) / Inflamabilidad (0)
Reactividad (0) / Riesgo Especial (0)
Riesgos : Ninguno
Peligros para la salud : Ninguno



SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos : Lavar con abundante agua durante 15 min. Referir al médico
Contacto con la piel : Lavar de inmediato con agua y jabón
Inhalación : Dar aire fresco si fuese necesario
Ingestión : Enjuagar boca con agua tibia. Referir al médico

SECCION 5: MEDIDAS PARA COMBATIR EL FUEGO

Agentes extintores : No inflamable ni combustible. Actuar según tipo de fuego existente
Protección especial : Ninguna
Proce. Especiales : No aplica
Riesgo explosión : No aplica

SECCION 6: MEDIDAS PARA CONTROLAR DERRAMES O FUGAS

Medidas de emergencia : Lavar con agua y trapear
Protección personal : Antiparras y guantes
Daños al ambiente : Ninguno, líquido inofensivo
Métodos de eliminación : Tratar como líquido inofensivo

SECCION 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

Manipulación : Usar antiparras y guantes
Almacenamiento : Almacenar en lugar fresco y seco
Embalajes : Almacenar sólo en envase original

SECCION 8: CONTROL DE EXPOSICIÓN/ PROTECCIÓN ESPECIAL

Medidas por exposición : No se requiere
Protección respiratoria : No se requiere
Protección de los ojos : Antiparras

www.cognoscibletechnologies.com

www.ulmen.cl

atencionalcliente@ulmen.cl



HOJA DE SEGURIDAD
GAIA NANOSILICE

Fecha de Emisión: Sept 18, 15
Revisión:
Fecha de Revisión:
Página 2 de 2

SECCION 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico	:	Líquido
Color	:	Café Claro
Olor	:	Característico
pH	:	6 ± 1
Densidad a 20° C	:	1,03 ± 0,02 (g/mL)
Viscosidad (Copa Ford Nº4)	:	14 ± 1 seg.
Inflamación, Combustión, Explosión	:	No inflamable, No combustible, No explosivo
Solubilidad	:	Completamente soluble en agua

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad	:	Estable bajo condiciones normales
Reactividad	:	Ninguna

SECCION 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

Toxicidad aguda	:	Por ingestión, dosis > 4000 mg/kg
Efectos peligrosos para la salud	:	Ninguno

SECCION 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA

Inestabilidad	:	Estable
Persistencia/ degradabilidad	:	Los métodos para determinación de la biodegradabilidad No son aplicables a sustancias inorgánicas
Bio-acumulación	:	No aplica

SECCION 13: CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICIÓN FINAL

Método de eliminación del producto	:	Debe tratarse como líquido inofensivo
Eliminación de envases	:	Depositar en vertedero autorizado según Legislación vigente

SECCION 14: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTE

NCh 2190	:	No aplica
Código NFPA	:	Salud: 1/ Inflam: 0/ React: 0/ Riesgo Especial: 0
Nº UN	:	No clasificado

SECCION 15: NORMAS VIGENTES

Normas internacionales aplicables	:	ASTMC-494
Normas nacionales aplicables	:	Ley Nº 28256
Marca en etiqueta	:	Código NFPA

SECCION 16: OTRAS INFORMACIONES

El formato de esta hoja de seguridad cumple con ley Nº 28256, Ley que regula el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos.

La información contenida se entrega de buena fe y voluntariamente. ULMEN S.A. no se hace responsable por el buen o mal uso de esta información. Considerando que el uso de esta información y de los productos está fuera del control del proveedor, ULMEN S.A. no asume responsabilidad alguna por este concepto. Las condiciones de uso seguro del producto es obligación del usuario.

www.cognoscibletchnologies.com

www.ulmen.cl

atencionalcliente@ulmen.cl

ANEXO C: GUIA DE PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

PERMEABILIDAD DEL CONCRETO

INGENIERÍA CIVIL

Paula Nicole Dongo Gómez

Universidad Católica de Santa
María

Permeabilidad del concreto

La permeabilidad del concreto es la capacidad que tiene este material para permitir el paso de sustancias líquidas o gaseosas debido a una diferencia de presiones entre dos superficies. Según Mehta y Monteiro (1985) el agua contenida y absorbida por la pasta de cemento procederá a evaporarse dejando cavidades insaturadas o poros por los cuales transitará el fluido al cual está expuesto. La porosidad de otros materiales integrantes de la mezcla, como la de los agregados, pasarán a segundo plano, ya que una mezcla correctamente compactada contendrá agregado totalmente envuelto en pasta de cemento.

Neville (2013) afirma que la permeabilidad de la pasta de cemento se modifica dependiendo del proceso de hidratación, el gel formado por el cemento hidratado llenará de forma gradual el espacio del agua que pasará a evaporarse. Esto demuestra que un concreto de mayor edad tendrá una menor permeabilidad. La permeabilidad no solo dependerá de la cantidad de cavidades o poros, sino de la distribución, tamaño, forma y principalmente su continuidad.

Diferentes autores coinciden al asegurar que la permeabilidad del concreto depende principalmente de la relación agua/cemento, siendo directamente proporcionales. Otros factores que pueden afectar dicha propiedad será el tiempo de curado y tipo de cemento.

Factores determinantes en la permeabilidad del concreto.

RELACIÓN AGUA/MATERIAL CEMENTANTE (A/MC).

Se expresa como la división de la masa de agua entre la masa de material cementante. Se debe elegir el menor valor necesario para resistir las condiciones a las que estará expuesta la estructura de concreto a construirse, si la durabilidad no es un factor que gobierna, la relación agua/material cementante dependerá de la resistencia a la compresión requerida. Si el único material cementante que lleva la mezcla es el cemento, la relación agua/ material cementante puede ser llamada también relación agua/cemento (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi, 2004).

Considerando su efecto en la permeabilidad Mehta y Monteiro (1985) comenta que mientras más baja sea la relación agua/material cementante, se tendrá un mayor grado de hidratación, por lo que la cantidad y tamaño de poros será reducido, esto permitirá la obtención de un concreto de baja permeabilidad.

TIPO DE CEMENTO.

La variedad de tipos de cemento y sus respectivas adiciones, generan distintos efectos que ayudan a mejorar la permeabilidad del concreto y con esto, su durabilidad. Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, y Tanesi (2004) manifiesta que un cemento con adición de escoria o puzolana influye de manera positiva en la permeabilidad del concreto, por lo cual son usados en estructuras con diferentes tipos de exposición.

CURADO DE CONCRETO.

Neville (2013) describe al curado del concreto como el método o técnica que promueve la hidratación del cemento, teniendo como objetivo principal mantener

saturado el concreto hasta que las cavidades causadas por el agua de mezcla evaporada sean colmadas por los productos de hidratación del cemento.

A medida que se desarrolla la hidratación del cemento, los poros se van reduciendo en cantidad, tamaño e irán perdiendo las interconexiones entre sí, de manera que la permeabilidad disminuye (Mehta y Monteiro, 1985).

POROSIDAD DEL CONCRETO.

Los poros capilares encontrados en la masa de concreto endurecido, siempre y cuando estén interconectados, serán uno de los principales factores que gobiernen en la permeabilidad de un concreto. (Neville, 2013).

Ley de Darcy.

Matemáticamente la permeabilidad puede expresarse mediante la ley de Darcy indicada en la siguiente ecuación.

$$\frac{d_q}{d_t} = \frac{K(\Delta H A)}{L \mu}$$

En la que

- d_q/d_t : Velocidad del fluido.
- Δ : Gradiente de presión.
- A : Área de superficie.
- L : Espesor del sólido.
- μ : Viscosidad del fluido (Mehta & Monteiro, 1985).

La cual es interpretada al decir que el caudal de agua que atraviesa una unidad de superficie de un sólido poroso es proporcional al gradiente de presión generado entre las dos caras del mismo.

Ensayos de permeabilidad

Los ensayos realizados al concreto con el fin de obtener su permeabilidad no se han normalizado en todos los países. Se encuentran una variedad de modalidades con las cuales puede calcularse este parámetro, entre ellas las más utilizadas son el ensayo de penetración al agua y el ensayo de penetración al aire y vapor.

PERMEABILIDAD A LÍQUIDOS.

Este ensayo propone aplicar agua a presión directamente a una probeta de concreto, luego se procederá a romper la probeta diametralmente para medir la profundidad que el agua ha penetrado.

Normas europeas como la DIN 1048-5 o la EN 12390 - 8 proponen aplicar una presión de 0.5 Mpa durante 72 horas para hallar únicamente una profundidad de penetración. Estudios realizados por la norma ACI 212 (2010), afirman que se puede realizar una modificación a dichas normas, considerando una presión de 1Mpa y un tiempo de 96 horas para luego aplicar la ecuación de Valenta.

Valenta (1970) descubrió una ecuación para convertir la profundidad de penetración a un coeficiente de permeabilidad (K) utilizando la ley de Darcy, donde se tiene la siguiente expresión.

$$K = \frac{e^2 v}{2ht}$$

En la cual:

- K: Coeficiente de permeabilidad (m/s).
- e: Profundidad de penetración de agua media en el concreto expresada en metros.
- h: Carga hidráulica o presión aplicada por la máquina expresada en metros.

t: Tiempo de duración de la prueba expresada en segundos.

v: Fracción del volumen del concreto ocupada por los poros.

La última expresión representa los poros o cavidades que solo se llenan aplicando agua bajo presión y se calcula según la NTP 339.187 (2018).

PERMEABILIDAD AL AIRE

La permeabilidad al agua y al aire debería proporcionarnos resultados semejantes, no obstante, esto no es posible, Neville (2013) afirma que los datos de permeabilidad obtenidos mediante el ensayo de permeabilidad al aire son mayores debido a un fenómeno llamado escape de gas, dado que, en el límite de flujo, el gas adquiere una velocidad finita.

La permeabilidad al aire depende de manera sustancial del curado del concreto y su contenido de humedad.

No existe algún método aceptado por alguna normativa, no obstante, existe una variedad de métodos aplicables.

El método más conocido y aceptado es el desarrollado por Roberto Torrent y Luis Ebensperger llamado “Medición “in situ” de la permeabilidad al aire del hormigón estatus quo”.



Ilustración 71: Equipo Torrent.

Manual del equipo de permeabilidad



Ilustración 72: Máquina de permeabilidad al agua del concreto.

La máquina de permeabilidad de concreto al agua, modelo TBTHS-4, está diseñada considerando el principio de presión hidráulica, para el cual hace uso de componentes como una bomba de agua, tuberías conectoras, recipiente de presión, válvulas de control y puntos de salida de agua a presión.

La función básica de esta máquina es generar presión con ayuda de la bomba de agua, la cual será incorporada al agua almacenada en el tanque de la máquina; el agua a presión se introduce en el recipiente de presión y posteriormente será eliminada por los puntos de salida situados en la parte superior. La máquina contiene un manómetro de contacto eléctrico que garantiza una presión constante en los puntos de salida de agua. En el manómetro de contacto eléctrico puede configurarse un rango de presión máxima y mínima, según sea lo contemplado en el ensayo.

- PARTES DEL PERMEÁMETRO DE CONCRETO

Soportes de testigos

Diseñados para sujetar testigos cilíndricos de concreto de 15x30 cm.



Ilustración 73: Soporte de testigos.

Almohadillas de Neopreno

Utilizadas entre los soportes de testigos y las probetas cilíndricas de concreto (15x30cm) para una mejor sujeción.



Ilustración 74: Almohadillas de neopreno.

Bomba de agua

La bomba de agua tiene un motor de 90 watts en la fuente, el cual genera el movimiento de los pistones que impulsan el agua al recipiente de presión.

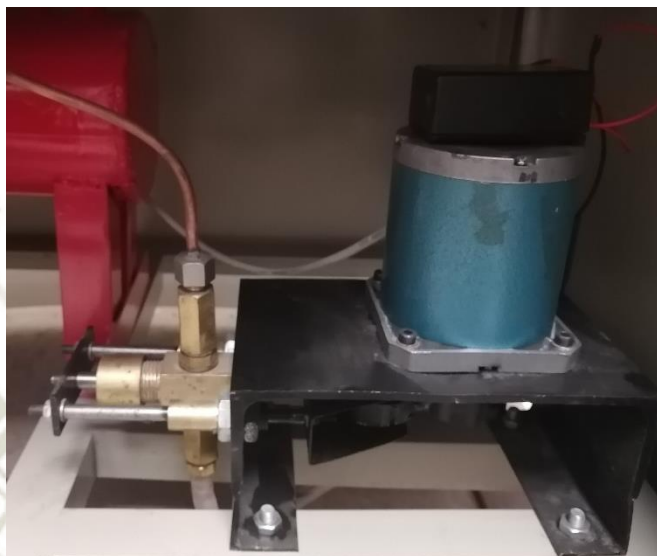


Ilustración 75: Bomba de agua.

Recipiente de presión

Almacena el agua a presión impulsada por el motor, la cual será liberada al accionar las válvulas de control.



Ilustración 76: Recipiente de presión.

Válvulas de control

La máquina contiene siete válvulas de control. Las seis primeras válvulas (empezando del lado izquierdo) controlan la salida de agua a presión. La última válvula (empezando del lado izquierdo) es utilizada para disminuir la presión en todos los puntos de ensayo, llamada también válvula de purga.



Ilustración 77: Válvulas de control.

Tablero de control

Consta de un panel de control y un manómetro.



Ilustración 78: Tablero de control.

Panel de control

Contiene dos botones y dos indicadores luminosos.



Ilustración 79: Panel de control.

- Botón 2 “Start”
De color verde, encargado del activar el suministro de presión.
- Botón 1 “Power Supply”
De color rojo, encargado de suministrar electricidad a la máquina.
- Indicador 1 “Constant pressure”
De color rojo, encargado de indicar cuando la presión está entre los límites fijados.
- Indicador 2 “Adding pressure”
De color verde, encargado de indicar cuando la presión se está incrementando hasta llegar al valor máximo.



Ilustración 80: Indicador 1 y 2 respectivamente.

Manómetro

Encargado de medir la presión expulsada. Contiene tres agujas.



Ilustración 81: Manómetro.

- Aguja 1
De color negro, es la encargada de medir la presión expulsada en los puntos de salida.
- Aguja 2
De color verde, es la encargada de fijar un valor de presión mínimo.
- Aguja 3
De color rojo, es la encargada de fijar un valor de presión máxima.

Mesa de trabajo

Contiene seis puntos de salida para el ensayo de testigos de concreto.



Ilustración 82: Mesa de trabajo.

Molde cilíndrico de acero

Utilizado para elaborar los testigos de concreto (17.5x20.5cm).



Ilustración 83: Molde cilíndrico.

- Medidas
 - Diámetro interno: 17.5 cm
 - Diámetro externo: 20.5 cm
 - Espesor: 1.5 cm
 - Altura: 20 cm

Nota 1: La utilización de estos moldes será opcional.

Nota 2: En caso se quieran elaborar testigos de concreto de las medidas anteriormente mencionadas, se necesitarán nuevos soportes metálicos.

Procedimiento de utilización de permeabilímetro

1. Colocar el anillo de caucho de manera concéntrica con el orificio de salida de agua a presión.
2. Colocar el testigo de concreto cilíndrico (15x30 cm) de manera concéntrica con el anillo de caucho.
3. Colocar la almohadilla de neopreno sobre la parte superior del testigo de concreto.
4. Colocar los soportes metálicos y ajustarlos a las barras que sobresalen de la mesa de trabajo.
5. Abrir la válvula de purga (séptima válvula empezando de la parte izquierda) para eliminar la presión atrapada, luego que la presión este en cero, cerrar la válvula.
6. Con ayuda de una herramienta plana, fijar los límites de presión superior e inferior en el manómetro.
7. Abrir las válvulas de control de presión a utilizarse (seis primeras válvulas empezando de la parte izquierda).
8. Conectar el equipo a una fuente de electricidad y presionar el botón rojo “Power Supply”.
9. Presionar el botón verde “Adding Pressure”.
10. Los botones verde y rojo deberán estar presionados durante el desarrollo del ensayo.

Permeabilidad en concretos de Arequipa

Se realizaron ensayos de permeabilidad en mezclas elaboradas con relaciones agua/cemento de 0.60, 0.55, 0.50, 0.45, 0.40 las cuales utilizaron materiales con las siguientes propiedades.

AGREGADOS

Se utilizaron agregados provenientes de la cantera “La Poderosa” ubicada en el distrito de Uchumayo en la ciudad de Arequipa.

- Agregado grueso: Piedra chancada de 1/2".
- Agregado fino: Arena gruesa.

CEMENTOS

Se utilizó cemento de la marca Yura.

- Cemento tipo I.
- Cemento tipo IP.
- Cemento tipo HS.

ADITIVOS

Se utilizó el aditivo llamado “Gaia Nanosílice” en mezclas de concreto elaboradas con cemento tipo IP y HS para relaciones agua cemento 0.45 y 0.4 debido a la demanda de agua causada por la alta concentración de cemento.

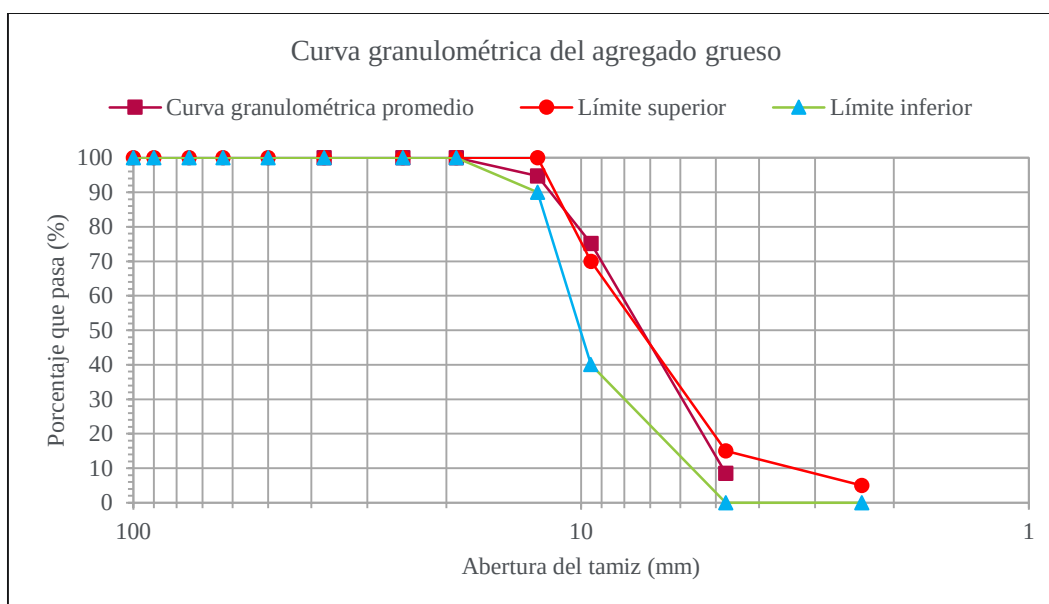


Ilustración 84: Curva granulométrica del agregado grueso.

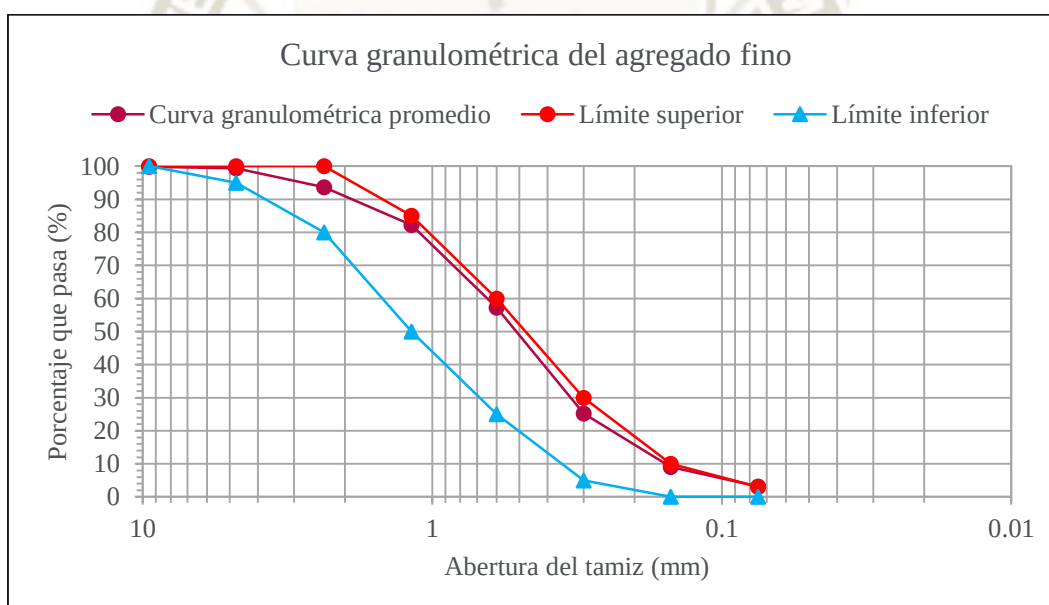


Ilustración 85: Curva granulométrica del agregado fino.

Tabla 144: Propiedades físicas de los materiales.

Características	Unidad	Agregado grueso - Piedra chancada de ½"	Agregado fino - Arena gruesa	Cemento Yura tipo I	Cemento Yura tipo IP	Cemento Yura tipo HS	Gaia Nanosílice
Módulo de fineza		6.16	2.33	-	-	-	-
Peso unitario suelto	kgf/m ³	1508.61	1412.94	-	-	-	-
Peso unitario compactado	kgf/m ³	1637.38	1611.15	-	-	-	-
Peso específico de masa	gf/cm ³	2.685	2.427	3.05	2.85	2.74	1.031
Absorción	%	1.048	3.150	-	-	-	-
Contenido de humedad	%	0.337	0.441	-	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

POROSIDAD DEL CONCRETO

Porosidad calculada según la NTP 339.187.

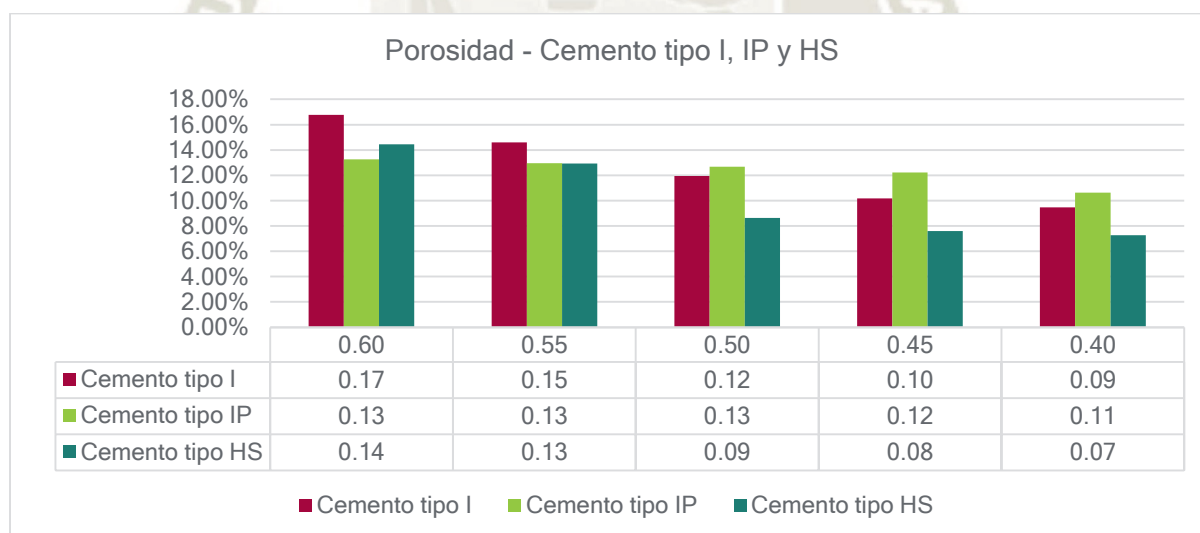


Ilustración 86: Porosidad del concreto - cemento tipo I, IP y HS.

Los valores de porosidad necesarios para obtener el coeficiente de permeabilidad del concreto dependen de la relación agua/cemento y el tipo de cemento considerado en las mezclas. La reducción del factor agua/cemento reducirá los valores de porosidad, la magnitud de dicha reducción dependerá del tipo de cemento.

PERMEABILIDAD

Se procedió a calcular la permeabilidad del concreto tomando en cuenta la propuesta de norma técnica y el manual de utilización encontrados en el presente documento.

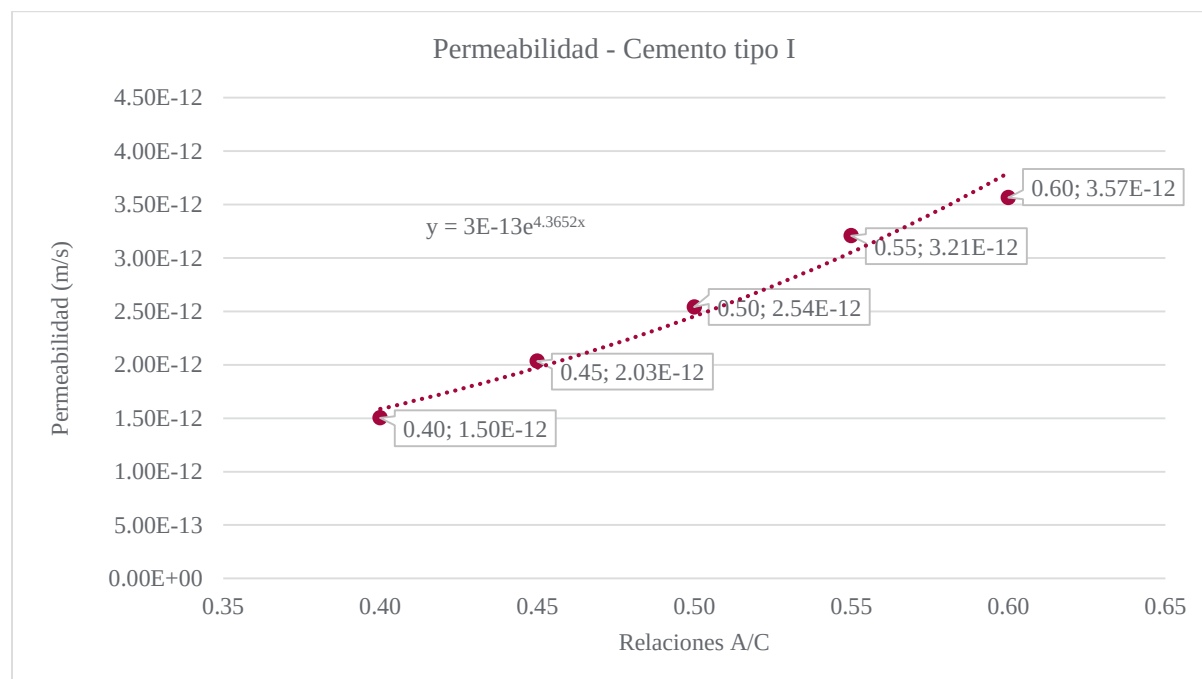


Ilustración 87: Permeabilidad del concreto utilizando cemento tipo I.

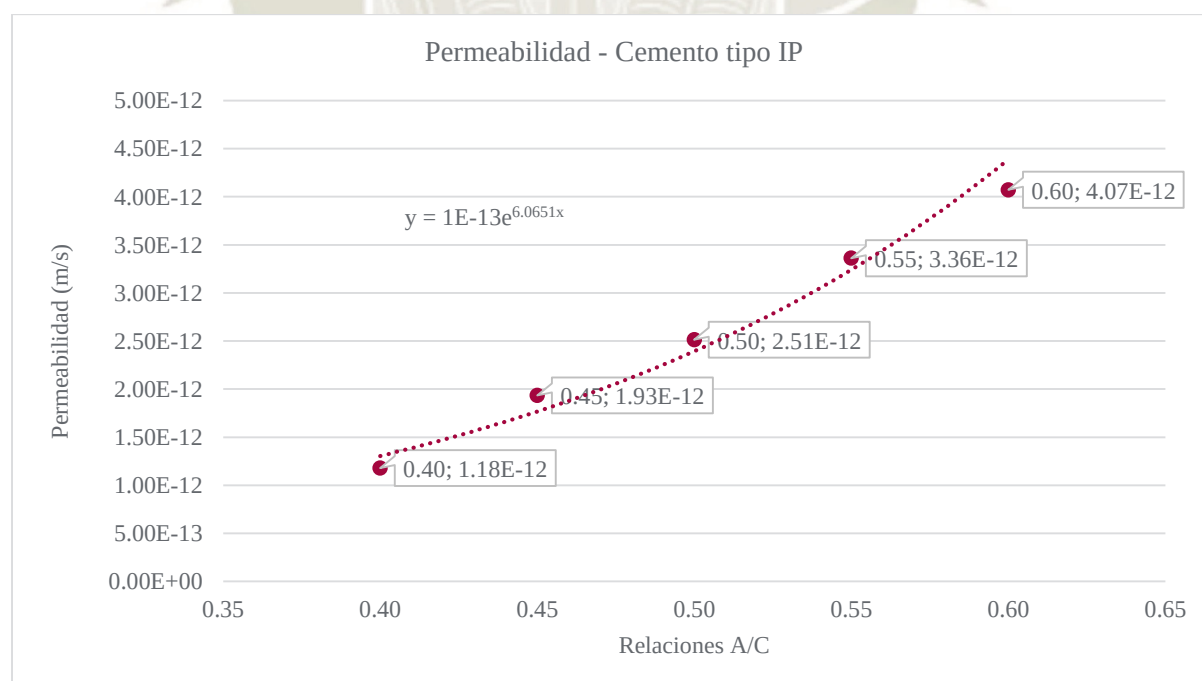


Ilustración 88: Permeabilidad del concreto utilizando cemento tipo IP.

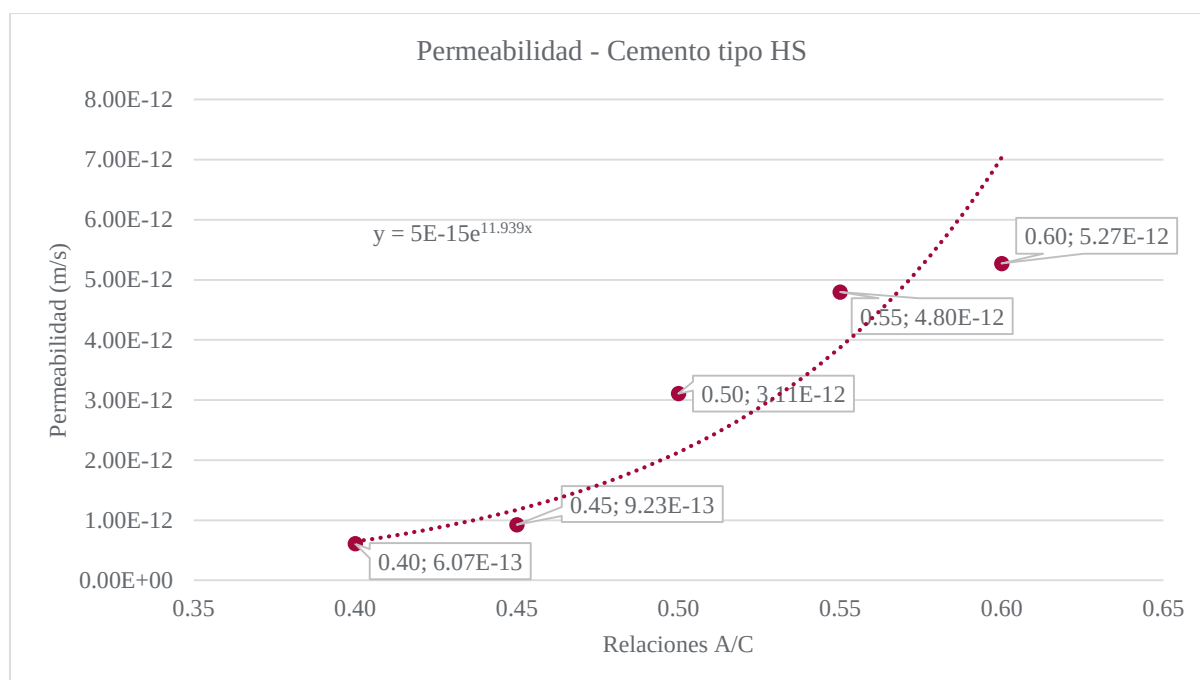


Ilustración 89: Permeabilidad del concreto utilizando cemento tipo HS.

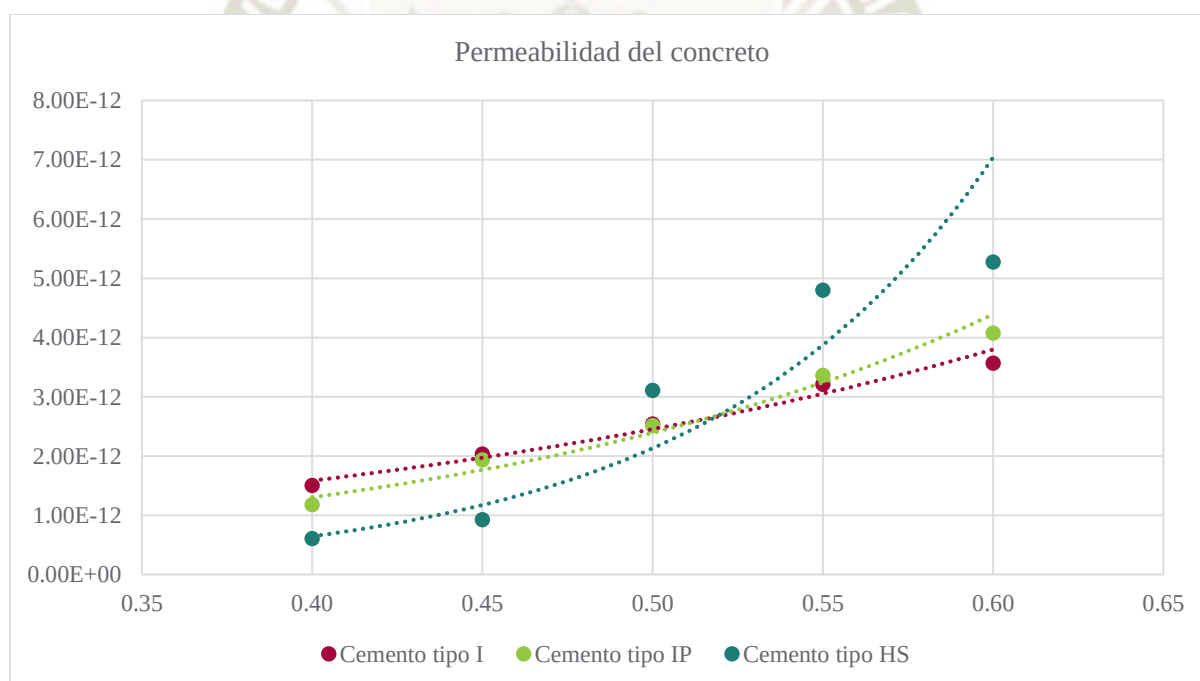


Ilustración 90: Comparación de permeabilidades de las mezclas de concreto.

Conclusiones y recomendaciones

- Tanto la propuesta de norma técnica como el manual de utilización de la máquina de permeabilidad al agua del concreto deberán tomarse en cuenta para una correcta elaboración del ensayo.
- Las ecuaciones de las gráficas de permeabilidad presentadas podrán ser utilizadas para concretos elaborados bajo condiciones similares a las del presente documento.
- La elección de la relación agua/cemento, así como la permeabilidad de una estructura de concreto dependerá de las condiciones de exposición del mismo.
- Se recomienda la utilización de cemento tipo I en mezclas de concreto elaboradas con relaciones agua/cemento iguales a 0.60 y 0.55.
- En mezclas de concreto elaboradas con una relación agua/cemento igual a 0.5 se podrá utilizar cualquiera de los tres cementos (I, IP o HS) ya que se presentan coeficientes de permeabilidad parecidos. La elección del cemento dependerá de las condiciones de exposición y necesidades de la estructura.
- Se recomienda la utilización de cemento tipo HS en mezclas de concreto elaboradas con relaciones agua/cemento iguales a 0.45 y 0.40.

Referencias bibliográficas.

- Kosmatka, S., Kerkhoff, B., Panarese, W. y Tanesi, J. (2004). *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*. Skokie, Illinois, EE.UU: Portland Cement Association.
- Mehta P., Monteiro P. (1985). *CONCRETO, estructura, propiedades y materiales*. California, Estados Unidos: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. A.C.
- Neville A.M. (2013). *Tecnología del concreto*. Mexico: M. en A. Soledad Moliné Venanzi.
- Dongo P. (2019). *Propuesta de incorporación del ensayo de permeabilidad al agua del concreto en la normativa técnica peruana y su implementación en el laboratorio de la UCSM - Arequipa 2019* (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú.