



**UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI**

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y  
ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**T E S I S**

**EVALUACIÓN DE ADITIVOS IMPERMEABILIZANTES  
PARA LA EFICIENCIA DEL CONCRETO EN  
ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS DEL DISTRITO  
CURIBAYA – CANDARAVE – TACNA, 2018**

**PRESENTADO POR**

**BACHILLER ALBERT CHAMBILLA PINO**

**ASESOR**

**MGR. RUTH MERCEDES JINES CABEZAS**

**PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**MOQUEGUA – PERÚ**

**2018**

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
PORTADA <sup>[U1]</sup>	
Página de jurado.....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Contenido .....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE APÉNDICES.....	xvi
RESUMEN.....	xxv
ABSTRACT.....	xxvi
INTRODUCCIÓN .....	xxvii

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema .....	1
1.2 Definición del problema .....	7
1.2.1 Problema general.....	7
1.2.2 Problemas específicos .....	7
1.3 Objetivos de investigación.....	7
1.3.1 Objetivo general .....	7
1.3.2 Objetivos específicos.....	7
1.4 Justificación .....	8
1.4.1 Técnicamente .....	8

1.4.2	Estructuralmente.....	8
1.5	Alcances y límites.....	9
1.5.1	Alcances .....	9
1.5.2	Limites.....	9
1.6	Variables.....	9
1.6.1	Operacionalización de variables.....	10
1.7	Hipótesis de investigación .....	10
1.7.1	Hipótesis general .....	10
1.7.2	Hipótesis específicas .....	10

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1	Antecedentes de la investigación.....	11
2.2	Bases teóricas .....	13
2.2.1	Concreto .....	13
2.2.1.1	Componentes del concreto.....	14
2.2.1.2	Tipos de concreto.....	17
2.2.1.3	Propiedades del concreto .....	19
2.2.1.4	Ensayos de laboratorio.....	21
2.2.2	Permeabilidad del concreto .....	23
2.2.2.1	Tipos de poros en el concreto .....	24
2.2.2.2	Procedencia del agua.....	25
2.2.2.3	Mecanismo de penetración del agua .....	26
2.2.2.4	Efectos de la penetración del agua en el concreto .....	28
2.2.3	Método para determinar la permeabilidad del concreto.....	28

2.2.3.1	Por flujo constante de agua .....	29
2.2.3.2	Por profundidad de penetración de agua.....	30
2.2.4	Aditivos químicos para concreto .....	31
2.2.4.1	Composición química .....	32
2.2.4.2	Clasificación según el comité 212 del ACI.....	36
2.2.4.3	Clasificación según la norma ASTM C 494 .....	36
2.2.4.4	Efecto de los aditivos químicos en las propiedades del concreto .....	37
2.2.5	Impermeabilización del concreto .....	38
2.2.5.1	Aditivo impermeabilizante Z .....	39
2.2.5.2	Aditivo impermeabilizante Chema .....	40
2.2.5.3	Aditivo impermeabilizante Sika .....	42
2.3	Definición de términos .....	44
2.3.1	Definición de evaluación.....	44
2.3.2	Definición de aditivos impermeabilizantes .....	45
2.3.3	Definición de eficiencia .....	45
2.3.4	Definición de concreto .....	45
2.3.5	Definición de estructuras hidráulicas .....	46

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

3.1	Tipo de investigación.....	47
3.2	Diseño de la investigación .....	48
3.3	Población y muestra.....	48
3.3.1	Población.....	48
3.3.2	Muestra.....	49

3.4	Descripción de instrumentos para recolección de datos .....	49
-----	---	----

## **CAPÍTULO IV**

### **PROCEDIMIENTO**

4.1	Ensayos de laboratorio de los agregados .....	50
4.1.1	Análisis granulométrico de los agregados .....	51
4.1.1.1	Agregado grueso .....	51
4.1.1.2	Agregado fino .....	54
4.1.2	Peso específico y absorción de los agregados .....	57
4.1.2.1	Agregado grueso .....	57
4.1.2.2	Agregado fino .....	58
4.1.3	Peso unitario suelto de los agregados (PUS).....	60
4.1.3.1	Agregado grueso .....	60
4.1.3.2	Agregado fino .....	61
4.1.4	Peso unitario compacto de los agregados (PUC) .....	62
4.1.4.1	Agregado grueso .....	62
4.1.4.2	Agregado fino .....	63
4.1.5	Módulo de fineza de los agregados .....	64
4.1.5.1	Agregado grueso .....	64
4.1.5.2	Agregado fino .....	65
4.1.6	Contenido de humedad total.....	65
4.1.6.1	Agregado grueso .....	65
4.1.6.2	Agregado fino .....	67
4.1.7	Abrasión en máquina los ángeles .....	68
4.1.7.1	Agregado grueso .....	68

4.2	Resultados de los ensayos de laboratorio .....	70
4.3	Diseño de mezclas .....	71
4.3.1	Diseño de mezclas $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	72
4.3.2	Diseño de mezclas $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	73
4.3.3	Cálculo de aditivo en porcentajes.....	74
4.4	Obtención y curado de los testigos de concreto .....	75
4.5	Obtención, curado y cálculo de porosidad.....	76
4.6	Ensayos de permeabilidad de los testigos de concreto .....	79
4.6.1	Fabricación del equipo .....	79
4.6.2	Ejecución de ensayos .....	81
4.6.2.1	Pre ensayo N° 01.....	81
4.6.2.2	Pre ensayo N° 02.....	82
4.6.2.3	Ensayos definitivos para investigación .....	83

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

5.1	Presentación de resultados.....	85
5.1.1	Profundidad de penetración.....	85
5.1.2	Coefficiente de permeabilidad.....	85
5.2	Contrastación de hipótesis .....	86
5.2.1	Hipótesis general .....	86
5.2.2	Hipótesis específicas .....	88
5.3	Discusión de resultados .....	99

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1 Conclusiones.....	101
6.2 Recomendaciones .....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	104
APÉNDICES.....	112
MATRIZ DE CONSISTENCIA .....	179
INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	180
AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN .....	204

## ÍNDICE DE TABLAS<sup>[U2]</sup>

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Acceso de Tacna a Curibaya. ....	1
Tabla 2. Requisitos químicos del cemento Yura tipo IP. ....	14
Tabla 3. Requisitos físicos del cemento Yura tipo IP. ....	15
Tabla 4. Resistencia a compresión del cemento Yura tipo IP. ....	15
Tabla 5. Resistencia a sulfatos del cemento Yura tipo IP. ....	15
Tabla 6. Normas ASTM y NTP para determinar las propiedades físicas de los agregados. ....	16
Tabla 7. Relación de sustancias permisibles en el agua. ....	17
Tabla 8. Relación de la permeabilidad del concreto entre el coeficiente de permeabilidad y la profundidad de penetración. ....	24
Tabla 9. Procedencia del agua en el concreto. ....	26
Tabla 10. Ingreso de agua y efecto en concreto. ....	28
Tabla 11. Aditivos incorporadores de aire. ....	32
Tabla 12. Aditivos plastificantes o reductores de agua. ....	32
Tabla 13. Aditivos fluidificantes. ....	33
Tabla 14. Aditivos superplastificantes. ....	33
Tabla 15. Aditivos aceleradores de fraguado. ....	34
Tabla 16. Aditivos retardadores de fraguado. ....	34
Tabla 17. Aditivos impermeabilizantes. ....	34
Tabla 18. Aditivos expansores reductores de agua. ....	35
Tabla 19. Clasificación de aditivos según el comité 212 del ACI. ....	36
Tabla 20. Clasificación de aditivos según la norma ASTM C 494. ....	36



Tabla 21. Efectos producidos por los aditivos en el concreto.....	37
Tabla 22. Descripción de los aditivos impermeabilizantes Z. ....	39
Tabla 23. Ventajas, usos y datos técnicos de los aditivos impermeabilizantes Z.....	40
Tabla 24. Descripción de los aditivos impermeabilizantes Chema.....	41
Tabla 25. Ventajas, usos y datos técnicos de los aditivos Impermeabilizantes Chema.....	41
Tabla 26. Descripción de los aditivos impermeabilizantes Sika.....	43
Tabla 27. Ventajas, usos y datos técnicos de los aditivos Impermeabilizantes Sika.....	43
Tabla 28. Muestra de investigación. ....	49
Tabla 29. Análisis granulométrico del agregado grueso.....	53
Tabla 30. Análisis granulométrico del agregado fino. ....	56
Tabla 31. Pesos de la muestra para cálculo de peso específico y absorción del agregado grueso. ....	57
Tabla 32. Pesos de la muestra para cálculo de peso específico y absorción del agregado fino. ....	58
Tabla 33. Registro de pesos para ensayo PUS del agregado grueso.....	60
Tabla 34. Registro de pesos para ensayo PUS del agregado fino. ....	61
Tabla 35. Registro de pesos para ensayo PUC del agregado grueso .....	62
Tabla 36. Registro de pesos para ensayo PUC del agregado fino.....	63
Tabla 37. Porcentajes retenidos acumulados del agregado grueso. ....	64
Tabla 38. Porcentajes retenidos acumulados del agregado fino. ....	65
Tabla 39. Peso original y seco del agregado grueso. ....	66

Tabla 40. Peso mínimo de la muestra de agregado grueso. ....	66
Tabla 41. Peso original y seco del agregado fino.....	67
Tabla 42. Gradación de las muestras de ensayo.....	68
Tabla 43. Número de esferas por gradación.....	68
Tabla 44. Propiedades físicas del agregado grueso.....	70
Tabla 45. Propiedades físicas del agregado fino.....	70
Tabla 46. Propiedades físicas de los agregados grueso y fino. ....	71
Tabla 47. Diseño de mezclas $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	72
Tabla 48. Diseño de mezclas $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	73
Tabla 49. Porcentaje de aditivo impermeabilizante Z 1 líquido requerido – $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ . ....	74
Tabla 50. Porcentaje de aditivo impermeabilizante Chema 1 líquido requerido – $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ . ....	75
Tabla 51. Porcentaje de aditivo impermeabilizante Sika 1 líquido requerido – $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ y $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ . ....	75
Tabla 52. Obtención de testigos para cálculo de porosidad – $f'c= 175$ $\text{kg/cm}^2$ .....	76
Tabla 53. Obtención de testigos para cálculo de porosidad – $f'c= 210$ $\text{kg/cm}^2$ .....	77
Tabla 54. Porosidad del concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	78
Tabla 55. Porosidad del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	78
Tabla 56. Relación de materiales, instrumentos y herramientas empleadas para fabricación de equipo.....	79

[U3]

## ÍNDICE DE FIGURAS<sup>[U4]</sup>

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Ubicación política del distrito Curibaya en la provincia Candarave .....	2
Figura 2. Vista panorámica del reservorio Ventana 01 .....	4
Figura 3. Detalle de fisuras en tarrajeo .....	4
Figura 4. Detalle de resquebrajamiento del tarrajeo .....	5
Figura 5. Vista panorámica del reservorio Chacalaquita .....	5
Figura 6. Juntas de dilatación muy distantes.....	6
Figura 7. Detalle de fisuras en tarrajeo y deterioro del material sellante.....	6
Figura 8. Representación del concreto en estado fresco .....	13
Figura 9. Esquema típico de la estructura del concreto endurecido.....	14
Figura 10. Reducción de la permeabilidad del concreto .....	23
Figura 11. Influencia de la relación A/C sobre la permeabilidad del concreto .....	27
Figura 12. Dispositivo de medición de la permeabilidad del concreto .....	29
Figura 13. Coliseo Romano .....	32
Figura 14. Diferentes alternativas para modificar la resistencia y trabajabilidad.....	38
Figura 15. Presentación del aditivo impermeabilizante Z 1 líquido en gln .....	40
Figura 16. Presentación del aditivo impermeabilizante Chema 1 líquido en gln.....	42
Figura 17. Presentación del aditivo impermeabilizante Sika 1 líquido en gln.....	44

Figura 18. Cantidad mínima de muestra .....	51
Figura 19. Curva granulométrica del agregado grueso .....	54
Figura 20. Curva granulométrica del agregado fino .....	57
Figura 21. Planta del soporte superior.....	80
Figura 22. Planta del soporte inferior.....	80
Figura 23. Corte A – A.....	80
Figura 24. Esquematación del ensayo de permeabilidad .....	81
Figura 25. Comparación de profundidades de penetración $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	86
Figura 26. Comparación de profundidades de penetración $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	87
Figura 27. Profundidad de penetración en concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ con Z 1 líquido .....	88
Figura 28. Profundidad de penetración en concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ sin aditivo.....	88
Figura 29. Profundidad de penetración en concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ con Chema 1 líquido .....	89
Figura 30. Profundidad de penetración en concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ con Sika 1 líquido .....	89
Figura 31. Profundidad de penetración en concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con Z 1 líquido .....	90
Figura 32. Profundidad de penetración en concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ sin aditivo.....	90
Figura 33. Profundidad de penetración en concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con Chema 1 líquido .....	91

Figura 34. Profundidad de penetración en concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con Sika 1 líquido .....	91
Figura 35. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ con Z 1 líquido .....	92
Figura 36. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con Z 1 líquido .....	93
Figura 37. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ sin aditivo .....	93
Figura 38. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ sin aditivo .....	94
Figura 39. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ con Chema 1 líquido .....	94
Figura 40. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con Chema 1 líquido .....	95
Figura 41. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ con Sika 1 líquido.....	95
Figura 42. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ con Sika 1 líquido.....	96
Figura 43. Comparación de los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	97
Figura 44. Comparación de los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	98

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	<b>Pág.</b>
Tabla A 1. Resultados de ensayos a compresión en testigos de concreto – $f^{\circ}c= 175 \text{ kg/cm}^2$ .....	112
Tabla A 2. Resultados de ensayos a compresión en testigos de concreto – $f^{\circ}c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	112
Tabla A 3. Matriz de consistencia.....	179
Tabla A 4. Obtención y curado de testigos de concreto.....	180
Tabla A 5. Ensayo de permeabilidad en testigos de concreto $f^{\circ}c= 175$ $\text{kg/cm}^2$ y $f^{\circ}c= 210 \text{ kg/cm}^2$ . ....	186
Tabla A 6. Comparación de profundidad de penetración en el concreto – $f^{\circ}c= 175 \text{ kg/cm}^2$ y $210 \text{ kg/cm}^2$ .....	191
Tabla A 7. Cálculo del coeficiente de permeabilidad (K) del concreto. ....	195
Tabla A 8. Comparación del coeficiente de permeabilidad (K) del concreto – $f^{\circ}c= 175 \text{ kg/cm}^2$ y $210 \text{ kg/cm}^2$ .....	200
Figura B 1. Volumen unitario de agua. ....	113
Figura B 2. Contenido de aire atrapado. ....	113
Figura B 3. Módulo de fineza de la combinación de agregados. ....	113
Figura B 4. Peso de agregado grueso por unidad de volumen del concreto. ....	114
Figura B 5. Relación agua/cemento por resistencia. ....	114
Figura B 6. Contenido de aire incorporado y total.....	114
Figura B 7. Condiciones especiales de exposición. ....	115
Figura B 8. Porcentajes de agregado fino. ....	115
Figura B 9. Volumen unitario de agua. ....	116

Figura B 10. Resultado de rotura testigo de concreto de $f^c = 175 \text{ kg/cm}^2$ a los 6 días. ....	117
Figura B 11. Resultado de rotura testigo de concreto de $f^c = 175 \text{ kg/cm}^2$ a los 13 días. ....	118
Figura B 12. Resultado de rotura testigo de concreto de $f^c = 175 \text{ kg/cm}^2$ a los 27 días. ....	119
Figura B 13. Resultado de rotura testigo de concreto de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 6 días. ....	120
Figura B 14. Resultado de rotura testigo de concreto de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 13 días. ....	121
Figura B 15. Resultado de rotura testigo de concreto de $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2$ a los 27 días. ....	122
Figura B 16. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c = 175 \text{ kg/cm}^2$ con Z 1 líquido 1,0 % a los 6 días. ....	123
Figura B 17. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c = 175 \text{ kg/cm}^2 + Z 1$ líquido 3,0 % a los 13 días. ....	124
Figura B 18. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c = 175 \text{ kg/cm}^2 + Z 1$ líquido 5,0 % a los 27 días. ....	125
Figura B 19. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2 + Z 1$ líquido 1,0 % a los 6 días. ....	126
Figura B 20. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2 + Z 1$ líquido 3,0 % a los 13 días. ....	127
Figura B 21. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c = 210 \text{ kg/cm}^2 + Z 1$ líquido 5,0 % a los 27 días. ....	128

Figura B 22. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 175 \text{ kg/cm}^2 +$ Chema 1 líquido 1,0 % a los 6 días. ....	129
Figura B 23. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 175 \text{ kg/cm}^2 +$ Chema 1 líquido 3,0 % a los 13 días .....	130
Figura B 24. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 175 \text{ kg/cm}^2 +$ Chema 1 líquido 5,0 % a los 27 días .....	131
Figura B 25. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 210 \text{ kg/cm}^2 +$ Chema 1 líquido 1,0 % a los 6 días .....	132
Figura B 26. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 210 \text{ kg/cm}^2 +$ Chema 1 líquido 3,0 % a los 13 días. ....	133
Figura B 27. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 210 \text{ kg/cm}^2 +$ Chema 1 líquido 5,0 % a los 27 días. ....	134
Figura B 28. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 175 \text{ kg/cm}^2 +$ Sika 1 líquido 1,0 % a los 6 días. ....	135
Figura B 29. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 175 \text{ kg/cm}^2 +$ Sika 1 líquido 3,0 % a los 13 días. ....	136
Figura B 30. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 175 \text{ kg/cm}^2 +$ Sika 1 líquido 5,0 % a los 27días. ....	137
Figura B 31. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 210 \text{ kg/cm}^2 +$ Sika 1 líquido 1,0 % a los 6 días. ....	138
Figura B 32. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 210 \text{ kg/cm}^2 +$ Sika 1 líquido 3,0 % a los 13 días. ....	139
Figura B 33. Resultado de rotura testigo de concreto $f^c= 210 \text{ kg/cm}^2 +$ Sika 1 líquido 5,0 % a los 27 días. ....	140



Figura B 34. Curva de resistencia en $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ . .....	141
Figura B 35. Curva de resistencia en $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . .....	142
Fotografía C 1. Incorporación de la piedra 3/4" .....	143
Fotografía C 2. Colocación de tapa antes de iniciar tamizado. ....	143
Fotografía C 3. Proceso de tamizado de la piedra de 3/4" .....	144
Fotografía C 4. Tamices utilizados para la distribución de la arena gruesa. ....	144
Fotografía C 5. Incorporación de la arena gruesa. ....	144
Fotografía C 6. Incorporación de la piedra de 3/4" .....	145
Fotografía C 7. Compactación a través de la aplicación de 25 golpes. ....	145
Fotografía C 8. La incorporación de la piedra de 3/4" se efectuó en tres capas. ....	145
Fotografía C 9. Enrazado o nivelado con la barra compactadora. ....	146
Fotografía C 10. Máquina de los ángeles. ....	146
Fotografía C 11. Esfera de acero. ....	146
Fotografía C 12. Lado derecho se aprecia el tablero de control. ....	147
Fotografía C 13. Incorporación de las esferas y la piedra de 3/4" .....	147
Fotografía C 14. Dosificación de los agregados. ....	148
Fotografía C 15. Dosificación del aditivo impermeabilizante Z 1 líquido. ....	148
Fotografía C 16. Incorporación del aditivo y el cambio de color del agua. ....	148
Fotografía C 17. Incorporación del agua + aditivo .....	149
Fotografía C 18. Concreto con aditivo impermeabilizante Z 1 líquido. ....	149
Fotografía C 19. Incorporación del concreto en los moldes. ....	149
Fotografía C 20. Proceso de incorporación del concreto. ....	150
Fotografía C 21. Proceso de compactación del concreto. ....	150



Fotografía C 43. Diámetro del testigo de concreto. ....	158
Fotografía C 44. Altura del testigo de concreto. ....	158
Fotografía C 45. Secado del testigo en horno a 110° C. ....	158
Fotografía C 46. Registro de la masa seca al horno. ....	159
Fotografía C 47. Incorporación de testigos de concreto en agua. ....	159
Fotografía C 48. Saturación del concreto. ....	159
Fotografía C 49. Testigos de concreto inmersos en agua en ebullición. ....	160
Fotografía C 50. Registro de masa (recipiente + agua). ....	160
Fotografía C 51. Registro de la masa aparente. ....	160
Fotografía C 52. Soportes superior e inferior. ....	161
Fotografía C 53. Pintado de soportes. ....	161
Fotografía C 54. Soporte general. ....	161
Fotografía C 55. Montaje de soportes inferiores. ....	162
Fotografía C 56. Balde hidráulico. ....	162
Fotografía C 57. Aseguramiento de soportes inferiores a soporte general. ....	162
Fotografía C 58. Pre ensayo N° 01. ....	163
Fotografía C 59. Presión aplicada 72,52 psi. ....	163
Fotografía C 60. Humectación superior de testigo de concreto. ....	163
Fotografía C 61. Ubicación de los neoprenos (02 unidades). ....	164
Fotografía C 62. Seccionado de testigo de concreto. ....	164
Fotografía C 63. Profundidad de penetración alcanzada por la presión. ....	164
Fotografía C 64. Pre ensayo N° 02. ....	165
Fotografía C 65. Ubicación de los neoprenos superior e inferior. ....	165
Fotografía C 66. Humectación superior de los testigos de concreto. ....	165

Fotografía C 67. Desmontaje de los testigos de concreto. ....	166
Fotografía C 68. Desmontaje de testigos de concreto. ....	166
Fotografía C 69. Profundidad penetrada por el agua en presión. ....	166
Fotografía C 70. Rust – oleum (leak seal). ....	167
Fotografía C 71. Testigos de concreto para sellado. ....	167
Fotografía C 72. Proceso de sellado de testigos de concreto. ....	167
Fotografía C 73. Testigos de concreto sellados. ....	168
Fotografía C 74. Presentación de testigos para iniciar ensayos definitivos. ....	168
Fotografía C 75. Montaje de equipo. ....	168
Fotografía C 76. Montaje de equipo. ....	169
Fotografía C 77. Montaje de testigos de concreto. ....	169
Fotografía C 78. Presión aplicada 72,52 psi. ....	169
Fotografía C 79. Ejecución de ensayo de permeabilidad. ....	170
Fotografía C 80. Vista posterior a ensayo de permeabilidad. ....	170
Fotografía C 81. No se registra eflorescencia de agua. ....	170
Fotografía C 82. Vista panorámica de ensayo de permeabilidad (72 h). ....	171
Fotografía C 83. Presentación de testigos de concreto para sellado. ....	171
Fotografía C 84. Sellado de testigos de concreto. ....	171
Fotografía C 85. Colocación de neoprenos sobre testigo de concreto. ....	172
Fotografía C 86. Ensayo de permeabilidad de concreto (72 h). ....	172
Fotografía C 87. Desmontaje de equipo. ....	172
Fotografía C 88. Profundidad de penetración alcanzada 22 mm ( $f'c= 175$ kg/cm <sup>2</sup> – Z 1 líquido 2,0 %). ....	173

Fotografía C 89. Profundidad de penetración alcanzada 20 mm ( $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> – Z 1 líquido 2,5 %)	173
Fotografía C 90. Profundidad de penetración alcanzada 15 mm ( $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> – Z 1 líquido 4,5 %)	173
Fotografía C 91. Profundidad de penetración alcanzada 20 mm ( $f'c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> – Z 1 líquido 0,5 %)	174
Fotografía C 92. Profundidad de penetración alcanzada 35 mm ( $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> – sin aditivo)	174
Fotografía C 93. Profundidad de penetración alcanzada 36 mm ( $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> – sin aditivo)	174
Fotografía C 94. Profundidad de penetración alcanzada 20 mm ( $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> – Chema 1 líquido 1,0 %)	175
Fotografía C 95. Profundidad de penetración alcanzada 16 mm ( $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> – Chema 1 líquido 2,5 %)	175
Fotografía C 96. Profundidad de penetración alcanzada 12 mm ( $f'c = 175$ kg/cm <sup>2</sup> – Sika 1 líquido 3,5 %)	175
Fotografía C 97. Profundidad de penetración alcanzada 9 mm ( $f'c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> – Sika 1 líquido 1,5 %)	176
Fotografía C 98. Profundidad de penetración alcanzada 7 mm ( $f'c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> – Sika 1 líquido 2,5 %)	176
Fotografía C 99. Profundidad de penetración alcanzada 5 mm ( $f'c = 210$ kg/cm <sup>2</sup> – Sika 1 líquido 5,0 %)	176
Fotografía C 100. Obtención de testigos de concreto (D= 6"; H= 12")	177
Fotografía C 101. Registro de dimensiones de testigo de concreto.	177

Fotografía C 102. Ensayo de compresión axial. ....	177
Fotografía C 103. Fallas producidas en los testigos de concreto. ....	178
Fotografía C 104. Falla tipo cono invertido en testigo de concreto. ....	178
Fotografía C 105. Falla tipo corte en testigo de concreto. ....	178

## RESUMEN

La investigación consistió en la utilización de tres aditivos impermeabilizantes líquidos: Z 1, Chema 1 y Sika 1 en proporciones de 0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 %; 3,0 %; 3,5 %; 4,0 %; 4,5 % y 5,0 % del peso del cemento, con lo cual se obtuvo sesenta testigos, así mismo se obtuvieron seis testigos de concreto sin aditivo, dichos testigos fueron curados sumergidos en agua por 28 días y posterior a ello secados a temperatura ambiente, dichos procedimientos fueron de acuerdo a la NTP 339,183. Los testigos de concreto fueron sometidos a ensayos de permeabilidad, a través del cual se identificó las profundidades de penetración y se calculó los coeficientes de permeabilidad, los cuales se compararon y clasificaron según los parámetros indicados en la norma NTC 4483, la cual indica < 30 mm permeabilidad baja, 30 mm a 60 mm permeabilidad media y > 60 mm permeabilidad alta; en la presente investigación las máximas profundidades de penetración por el agua en presión, fueron: con aditivos 28 mm en  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$  y 20 mm en  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  y sin aditivo 37 mm en  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ , con ello se determinó la eficiencia alcanzada en el concreto.

*Palabras clave:* evaluación, aditivos, impermeabilizantes, eficiencia, concreto, estructuras, hidráulicas.

## ABSTRACT

The investigation consisted of the use of three liquid waterproofing additives: Z 1, Chema 1 and Sika 1 in 0.5% proportions; 1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 %; 3,0 %; 3,5 %; 4,0 %; 4,5 % and 5,0 % of the weight of cement, which was obtained sixty witnesses, likewise six concrete witnesses without additive were obtained, said witnesses were cured submerged in water for 28 days and then dried at room temperature environment, said procedures were in accordance with NTP 339,183. The concrete witnesses were subjected to permeability tests, through which the depths of penetration were identified and the permeability coefficients were calculated, which were compared and classified according to the parameters indicated in the NTC 4483 standard, which indicates < 30 mm low permeability, 30 mm to 60 mm medium permeability and > 60 mm high permeability; in the present investigation the maximum depths of penetration by water in pressure, were: with additives 28 mm in  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  and 20 mm in  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  and without additive 37 mm in  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , with this the efficiency reached in the concrete was determined.

Keywords: evaluation, additives, waterproofing, efficiency, concrete, structures, hydraulic.



## INTRODUCCIÓN

Curibaya es uno de los seis distritos pertenecientes a la provincia Candarave – región Tacna, el cual se encuentra aproximadamente a 2 400 m.s.n.m., de clima frío moderado, los pobladores de dicho distrito se dedican a actividades tales como: agricultura y ganadería, en ese sentido el recurso hídrico es de suma importancia para la realización de dichas actividades, siendo necesario almacenar adecuadamente dicho recurso, lo cual es posible utilizando aditivos impermeabilizantes en la etapa de construcción de las estructuras hidráulicas.

El presente trabajo de investigación se enfocó en la evaluación de aditivos impermeabilizantes líquidos de fabricación nacional, tales como: Z 1, Chema 1, y Sika 1, los cuales son sustancias capaces de obstruir la porosidad del concreto endurecido y por ende se reduce las filtraciones de agua. La evaluación se realizó a través de la aplicación de los aditivos mencionados, en porcentajes del peso del cemento, en el proceso de mezclado. Primero: se obtuvo testigos de concreto, los cuales fueron curados por 28 días sumergidos en agua, asimismo fueron secados hasta alcanzar peso constante para eliminar por completo la humedad del interior, todo ello considerando la NTP 339,183. Segundo: se realizó ensayos de permeabilidad en los cuales se aplicó presión de agua de 500 kpa (72,52 psi) por tres días en los testigos de concreto, los cuales fueron seccionados para registrar la profundidad de penetración alcanzada por el agua, considerando la norma UNE-EN 12390-8. Tercero: se calculó el coeficiente de permeabilidad (K) del concreto utilizando la ley de Darcy.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Descripción de la realidad del problema<sup>[U6]</sup>

“El distrito tiene acceso desde la capital del departamento, mediante la carretera panamericana sur, la superficie del distrito es de 113,17 km<sup>2</sup>, sus coordenadas geográficas son: 17°22’56,9” latitud sur y 70°20’3,7” longitud oeste” (Municipalidad distrital de Curibaya, 2016, p.6). Se detalla el acceso al distrito mencionado en la tabla 1:

**Tabla 1**

*Acceso de Tacna a Curibaya*

Desde	Hasta	Distancia (km)	Tiempo (h)	Tipo de vía
Tacna	Desvío gallinazos	86	1,50	Asfalto
Desvío gallinazos	Ticapampa	50	1,00	Asfalto
Ticapampa	Curibaya	35	0,75	Asfalto y trocha
<b>Total</b>		<b>171</b>	<b>3,25</b>	

Nota: En la tabla se detalla el recorrido de la ciudad de Tacna al distrito Curibaya, se muestra la distancia y el tiempo

Asimismo en la figura 1, se detalla la ubicación del distrito Curibaya en la provincia Candarave – region Tacna:



Figura 1. Ubicación política del distrito Curibaya en la provincia Candarave  
Fuente: Municipalidad distrital de Curibaya, 2016

El distrito Curibaya cuenta con estructuras hidráulicas como son dos reservorios de regulación que almacenan y abastecen de agua a los agricultores, los cuales son de concreto ciclópeo, el primero ubicado en la sección Ventana 01 (ver figuras 2, 3 y 4) y el segundo en la sección Chacalaquita (ver figuras 5, 6 y 7) con aproximadamente  $2\,500\text{ m}^3$  de capacidad de almacenamiento cada uno y 15 años de funcionamiento, dichos reservorios fueron construidos de manera convencional, el interior se encuentra recubierto con mortero impermeabilizado, el cual tras una previa evaluación se halló deteriorado y fisurado, debido a los siguientes factores:

- Omisión de aditivos impermeabilizantes en la etapa de mezclado del concreto, en la construcción de los reservorios en mención, no se utilizaron

aditivos en la elaboración del concreto, si no que se utilizó en el mortero con el cual se recubrió el interior. “Los aditivos se emplean cada vez en mayor escala en la fabricación de morteros y hormigones, para la elaboración de productos de calidad” (Rivera, 2015, p.231).<sup>[U9]</sup>

- Deficiente mano de obra, en ciertos sectores se identificó el deficiente proceso de tarrajeo, al no estar adherido completamente al interior del reservorio. “El mortero se prepara siguiendo las proporciones obtenidas en el diseño de mezclas. Debe tener una consistencia seca y trabajable para que pueda colocarse manualmente” (Agüero, 2004, p.32).<sup>[U10]</sup>
- Inadecuada ubicación de juntas de contracción y dilatación, la distancia entre juntas es demasiado, haciendo los paños muy rígidos, asimismo dichas juntas se encuentran selladas con asfalto el cual es endeble al contacto con el agua. “Las grietas y fisuras son roturas que aparecen en el concreto como consecuencia de tensiones superiores a su capacidad resistente” (Toirac, 2004, p.75).



*Figura 2.* Vista panorámica del reservorio Ventana 01



*Figura 3.* Detalle de fisuras en tarrajeo

Nota: Las fisuras se presentan cercanas a la junta de dilatación





*Figura 4.* Detalle de resquebrajamiento del tarrajeo  
Nota: El resquebrajamiento se origina en la corona del reservorio



*Figura 5.* Vista panorámica del reservorio Chacalaquita



Figura 6. Juntas de dilatación muy distantes



Figura 7. Detalle de fisuras en tarrajeo y deterioro del material sellante

## **1.2 Definición del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cómo influirá la evaluación de aditivos impermeabilizantes en la eficiencia del concreto de las estructuras hidráulicas del distrito Curibaya – Candarave – Tacna, 2018?<sup>[U11]</sup>

### **1.2.2 Problemas específicos**

¿Cuál es el procedimiento para identificar la profundidad de penetración en el concreto, por la acción del agua en presión?

¿Cuál es el método para hallar el coeficiente de permeabilidad (K) del concreto sometido en agua a presión?

¿Cómo influye la omisión de aditivos impermeabilizantes en la eficiencia del concreto, frente a la acción del agua en presión?

## **1.3 Objetivos de investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Analizar los aditivos impermeabilizantes para alcanzar eficiencia del concreto en estructuras hidráulicas del distrito Curibaya – Candarave – Tacna, 2018.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Identificar las profundidades de penetración alcanzadas en los testigos de concreto, por el agua ejercida en presión.

Comparar los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto, a fin de clasificarlos en niveles.



Determinar el porcentaje de aditivo impermeabilizante, con el cual, el concreto es eficiente frente a la acción del agua en presión.

## **1.4 Justificación**

### **1.4.1 Técnicamente**<sup>[U12]</sup>

El presente trabajo de investigación busca aportar conocimientos teóricos y prácticos, a través de la evaluación y utilización de aditivos impermeabilizantes en el concreto, dicha evaluación proporcionará resultados a través de ensayos en laboratorio a fin de determinar el coeficiente de permeabilidad (K). Asimismo, la información servirá como precedente para investigaciones posteriores.

Rivera (2015) afirma que “Se puede lograr mejorar las resistencias mecánicas, las resistencias a las acciones físicas como heladas y las acciones químicas, disminución de la porosidad, en el control de hidratación, en la contracción controlada y en los mejores acabados” (p.232).<sup>[U13]</sup>

### **1.4.2 Estructuralmente**<sup>[U14]</sup>

La investigación desarrollara una evaluación, en la cual buscara reducir los daños producidos por la penetración del agua en el concreto, a fin de conservar dicho concreto en condiciones óptimas (eficiente impermeabilización).

Rivera (2015) afirma que “El objeto de obtener concretos y morteros impermeables es impedir el paso del agua o su absorción, pero también hacerlos lo más resistentes posibles contra la penetración de agentes agresivos que puedan producir la descomposición del hormigón” (p.245).

## **1.5 Alcances y límites**

### **1.5.1 Alcances**

Según la investigación y revisión de bibliografía, este tema ya ha sido materia de investigación en países como Chile, Colombia y España; asimismo cuentan con normas incorporadas en sus reglamentos.

NCh2262 (1997) afirma que “La norma establece el procedimiento para determinar en laboratorio la impermeabilidad al agua de morteros y hormigones, este procedimiento se aplica a morteros y hormigones con áridos de densidad real seca  $> 2\,000\text{ kg/m}^3$  y  $D_n \leq 40\text{ mm}$ ” (p.1).

NTC 4483 (1998) afirma que “Este método comprende la determinación, en el laboratorio, del coeficiente de permeabilidad (K) del concreto endurecido por dos métodos: flujo constante y profundidad de penetración” (p.1).

UNE-EN 12390-8 (2000) afirma que “Esta norma especifica un método para determinar la profundidad de penetración de agua bajo presión en hormigones endurecidos que han sido curado en agua” (p.6).

### **1.5.2 Límites**

La falta de implementación de la NTP en cuanto a ensayos de permeabilidad del concreto, mecanismos y parámetros que indique formas y medidas de los equipos.

Asimismo, se presentó dificultades para el traslado de agregados (arena gruesa y piedra de 3/4”) desde Curibaya a Tacna.

## **1.6 Variables**

Variable Independiente: Evaluación de aditivos impermeabilizantes.

Variable Dependiente: Eficiencia del concreto en estructuras hidráulicas.

### **1.6.1 Operacionalización de variables**

Variable Independiente: A través de la utilización de aditivos impermeabilizantes en el concreto en porcentaje de 0,5 % a 5,0 % del peso de cemento en intervalos de 0,5.

Variable Dependiente: A través de ensayos de laboratorio en los cuales se conocerá la profundidad de penetración del agua en los testigos de concreto y cálculo del coeficiente de permeabilidad (K).

## **1.7 Hipótesis de investigación**

### **1.7.1 Hipótesis general**<sup>[U15]</sup>

La evaluación de aditivos impermeabilizantes alcanza eficiencia en el concreto de estructuras hidráulicas del distrito Curibaya – Candarave – Tacna, 2018.

### **1.7.2 Hipótesis específicas**

La identificación de las profundidades penetradas en los testigos de concreto, por la acción del agua en presión, revela su comportamiento permeable.

La comparación de los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto, permiten clasificarlos en niveles.

La adición de aditivos impermeabilizantes en porcentajes adecuados, durante la elaboración del concreto, alcanza eficiencia frente a la acción del agua en presión.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes de la investigación**<sup>[U17]</sup>

Se efectuó la revisión de fuentes bibliográficas e internet y se seleccionaron las que tienen mayor relación con la presente investigación, las cuales se describen a continuación:

Moreno (2015) desarrolló la tesis titulada “Implementación del método de presión para medir la permeabilidad en el concreto” en la ciudad de Lima, cuyo principal objetivo fue validar un método apropiado para medir la permeabilidad al agua del concreto, y así poder calcular el coeficiente de permeabilidad, lo que nos ayudará a comparar de forma cuantitativa la permeabilidad de los distintos tipos de concreto. Se obtuvieron resultados para cada método aplicado, los cuales se describen en tablas. Concluye que en los resultados del análisis del ensayo de permeabilidad realizado con distintas relaciones agua-cemento, existe relación entre el coeficiente de permeabilidad y la relación agua-cemento, asimismo es directa y varia de exponencial.

Oquendo (2013) desarrolló la tesis titulada “Evaluación y selección de aditivos impermeabilizantes para concreto con resistencia de 450 kgf/cm<sup>2</sup>” en la ciudad de Sartenejas, cuyo principal objetivo fue minimizar el ingreso de agua en las dovelas (c<sup>o</sup>a<sup>o</sup> del metro), a través de la incorporación de aditivos impermeabilizantes en las mezclas de concreto, se evaluó cuatro tipos de aditivos impermeabilizantes: S-1, X-130, PA y SL. Los resultados muestran que la incorporación de los aditivos impermeabilizantes disminuye la penetración del agua en el concreto, lo cual prolonga la integridad de la estructura. La resistencia mecánica promedio obtenido por el aditivo S-1 fue 491± 38 kgf/cm<sup>2</sup> con un cuantil entre 15-20 %, en comparación con el aditivo X-130 que tuvo una resistencia de 503± 40 kgf/cm<sup>2</sup> y un cuantil entre 10-15 %, lo que sugiere la necesidad de optimizar más las mezclas. Se concluye en que la evaluación ha sido beneficiosa para conseguir impermeabilizar el concreto, ya que permitió descartar los aditivos menos favorables.

Rodríguez (2015) desarrolló la tesis titulada “Eficiencia de aditivos impermeabilizantes por cristalización para el hormigón en Guayaquil” en la ciudad de Samborondón, cuyo principal objetivo fue la aplicación de aditivos impermeabilizantes en el concreto, ya que son productos capaces de evitar fracturas en el hormigón y así impedir el ingreso de presión negativa de agua, estos reaccionan a la humedad del concreto fresco y con los subproductos de la hidratación del cemento ocasionando una reacción, generando la formación de cristales no solubles dentro de los poros y los capilares del concreto sellándolo permanentemente. Se concluye que los aditivos impermeables por cristalización si bien ayudan en gran parte al sello de filtraciones, también tienen desventajas

como la efectividad es un proceso parcial a tiempo prolongado y el alto costo que representa este producto.

## **2.2 Bases teóricas**<sup>[U18]</sup>

### **2.2.1 Concreto**

El concreto es un compuesto, resultante de mezclar cemento, agregado grueso, agregado fino, aire y agua, en proporciones establecidas en un diseño, según la utilización del mismo, el cual se aprecia en la figura 8, asimismo se presenta una esquematización en la figura 9. “El concreto es una mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas. El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo” (Abanto, 2017, p.11).

Harmsen (2002) afirma que el “Concreto es mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El cemento, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas” (p.11).



*Figura 8.* Representación del concreto en estado fresco

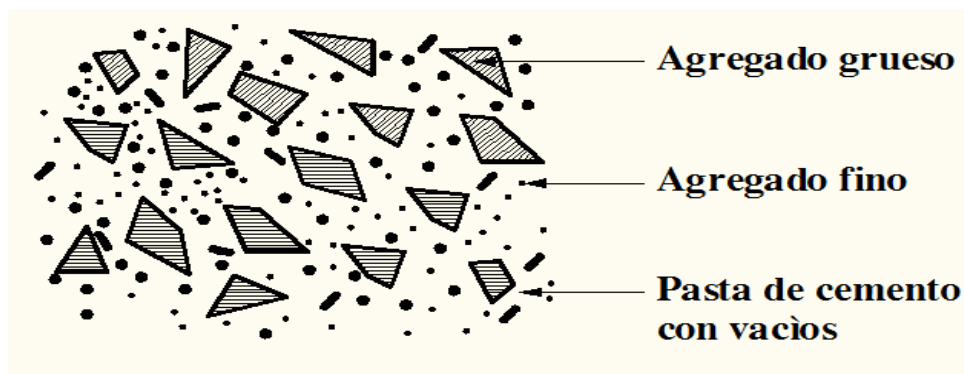


Figura 9. Esquema típico de la estructura del concreto endurecido  
Fuente: Colina, s.f

### 2.2.1.1 Componentes del concreto

#### a. Cemento portland puzolánico Yura tipo IP

Cemento compuesto por elementos de procedencia volcánica. “Es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, ya que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero” (Yura S.A, 2017, p.1).

El cemento es un componente importante en el concreto, por tanto, debe cumplir con los requisitos indicados en las tablas: 2 – requisitos químicos, 3 – requisitos físicos, 4 – resistencia y 5 – sulfatos:

**Tabla 2**

*Requisitos químicos del cemento Yura tipo IP*

Requisitos químicos	Cemento Yura tipo IP	NTP 334,090 ASTM C 595
MgO (%)	1,5 a 2,4	6,00 máx.
SO <sub>3</sub> (%)	1,5 a 2,3	4,00 máx.
Pérdida por ignición (%)	1,5 a 3,8	5,00 máx.

Fuente: Yura S.A, 2017

**Tabla 3***Requisitos físicos del cemento Yura tipo IP*

<b>Requisitos físicos</b>	<b>Cemento Yura tipo IP</b>	<b>NTP 334,090 ASTM C 595</b>
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2,77 a 2,85	-
Expansión en autoclave (%)	-0,05 a 0,03	-0,20 a 0,80
Fraguado vicat inicial (minutos)	170	45 mín.
Fraguado vicat final (minutos)	270	420 máx.
Contenido de aire	2,5 a 8,0	12 máx.

Fuente: Yura S.A, 2017

**Tabla 4***Resistencia a compresión del cemento Yura tipo IP*

<b>Resistencia a la compresión</b>	<b>Cemento Yura tipo IP</b>		<b>NTP 334,090 ASTM C 595</b>	
	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>mpa</b>	<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>mpa</b>
1 día	80 a 104	7,8 a 10,2	-	-
3 días	175 a 200	17,1 a 19,6	133 mín.	13
7 días	225 a 260	22,0 a 25,4	204 mín.	20
28 días	306 a 350	30,0 a 34,3	255 mín.	25

Fuente: Yura S.A, 2017

**Tabla 5***Resistencia a sulfatos del cemento Yura tipo IP*

<b>Resistencia a los sulfatos</b>	<b>Cemento Yura tipo IP</b>	<b>NTP 334,090 ASTM C 595</b>
% Expansión a los 6 meses	< 0,021 %	0,05 máx.
% Expansión a 1 año	< 0,023 %	0,10 máx.

Fuente: Yura S.A, 2017

**b. Agregados**

Los agregados son materiales inertes y pueden limitar la resistencia del concreto.

“Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. El volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65 % a 85 %”

(Gutiérrez, 2003, p.9).



Los agregados se clasifican según el tamaño de sus partículas, las cuales se encuentran comprendidas entre los límites estipulados en la NTP 400,011; asimismo se clasifican en agregado grueso y agregado fino, en la tabla 6 se muestran las normas que intervienen para obtener las propiedades físicas de dichos agregados:

**Tabla 6**

*Normas ASTM y NTP para determinar las propiedades físicas de los agregados*

Ensayos en agregados	ASTM		NTP	
	Ag. grueso	Ag. fino	Ag. grueso	Ag. fino
Análisis granulométrico	ASTM C 136		NTP 400,012	
Peso específico	ASTM C 127	ASTM C 128	NTP 400,021	NTP 400,022
Peso unitario suelto	ASTM C 29		NTP 400,017	
Peso unitario compactado	ASTM C 29		NTP 400,017	
Capacidad de absorción	ASTM C 127	ASTM C 128	NTP 400,021	NTP 400,022
Contenido de humedad	ASTM C 566		NTP 339,185	
Resistencia a la abrasión	ASTM C 131		NTP 400,019	

Fuente: Moreno, 2015

Nota: En la tabla se muestran los ensayos para agregados y las respectivas normas, con las cuales se halla las propiedades físicas de los mismos

- ***Agregado grueso***

Se define como agregado grueso al material grueso proveniente de la desintegración mecánica, retenido en el tamiz N° 4, según la NTP 400,011.

- ***Agregado fino***

Se define como agregado fino al material proveniente de la desintegración natural y/o artificial de rocas que pasa por el tamiz 3/8 y es retenido en tamiz N° 200, según NTP 400,011.

### **c. Agua**

El agua utilizada en la elaboración del concreto fue potable, asimismo se tomó en consideración los requisitos detallados en la tabla 7:

**Tabla 7**

*Relación de sustancias permisibles en el agua*

<b>Ítem</b>	<b>Sustancias disueltas</b>	<b>Valor máximo admisible</b>
1	Cloruros	300 ppm
2	Sulfatos	300 ppm
3	Sales de magnesio	150 ppm
4	Sales solubles	1 500 ppm
5	pH	Mayor de 7
6	Sólidos en suspensión	1 500 ppm
7	Materia orgánica	10 ppm

Fuente: Abanto, 2017

Nota: En la tabla se muestra la relación de sustancias, así como las cantidades permisibles en el agua del concreto a elaborar

#### **2.2.1.2 Tipos de concreto**

Existen diferentes tipos de concreto, los cuales se diseñan en función al uso, entre ellos tenemos los siguientes:

##### **a. Concreto de relleno fluido**

El relleno fluido tiene amplia utilización en relleno de zanjas, tuberías, bases y sub bases de pavimentos, habilitaciones urbanas, socavones mineros, etc. Por sus propiedades ocupa con mayor facilidad huecos o espacios que un concreto o mortero convencional. “sustituto de suelo, que se coloca de forma líquida y que una vez endurecido presenta un mejor comportamiento y mejores propiedades que las de un relleno tradicional hecho con materiales granulares” (Huerta, 2005, p.18).

#### ***b. Concreto autocompactable***

El concreto autocompactante tiene un flujo muy alto, por lo tanto, es autonivelante, lo que elimina la necesidad de vibración. “Hormigón autocompactante es aquel hormigón que en estado plástico fluye y consolida por efecto de su propio peso (gravedad), manteniendo su homogeneidad, sin segregación ni exudación, durante y después de su transporte, distribución y colocación” (Vargas y Sciaraffia, 2006, p.58).

#### ***c. Concreto liviano***

Es un concreto que reduce el peso de la carga muerta. Se utiliza para rellenar o nivelar azoteas, construir contrapisos, tabiques no estructurales y para cañerías. “Son preparados con agregados livianos y su peso unitario varía desde 400 a 1 700 kg/m<sup>3</sup> (Abanto, 2017, p.13).

#### ***d. Concreto normal***

Es un concreto utilizado en las estructuras armadas que sustentan las obras, como cimientos, pilares, paredes, bóvedas, pavimentos y también se usa para elementos decorativos. “Son preparados con agregados corrientes y su peso unitario varia de 2 300 a 2 500 kg/m<sup>3</sup>. Según en tamaño máximo del agregado. El peso promedio es de 2 400 kg/m<sup>3</sup>” (Abanto, 2017, p.13).

#### ***e. Concreto pesado***

Es un concreto en el cual se le agrega aditivos más densos, especial para blindar estructuras, bloquear la radiación, contrapesos para puentes y algunos tipos de fundaciones. “Son preparados utilizando agregados pesados, alcanzando peso unitario valores entre 2 800 a 6 000 kg/m<sup>3</sup>. Generalmente se utilizan agregados

como baritas, minerales de fierro como la magnetita, limonita, hematita y agregados artificiales como el fosforo de hierro y partículas de acero” (Abanto, 2017, p.13).

#### ***f. Concreto permeable***

Por su especial diseño de mezcla, el concreto poroso es un material sumamente permeable que permite que el paso del agua. “Compuesto de cemento, agregado grueso, agua y aditivos, al mezclarse sirve para fabricar pisos y pavimentos totalmente permeables. La poca presencia de agregado fino, hace que el concreto tenga una estructura porosa, permitiendo que el agua pase a través de la estructura” (Euclid group toxement, 2017, p.2).

#### ***g. Concreto de baja permeabilidad***

Es un material de construcción que ofrece muchas ventajas con respecto a otros. Su capacidad para proteger las edificaciones de los embates de la humedad le hacen muy efectivos a la hora de preservar las estructuras en buen estado. “El concreto puede contener el agua, lo hace porque su estructura microscópica le permite que el líquido no lo atraviese fácilmente, sin embargo, no todos los concretos son capaces de hacerlo” (Hermida, 2014, p.4).

### ***2.2.1.3 Propiedades del concreto***

El concreto presenta diferentes propiedades, ya sea en estado fresco o endurecido, a continuación, se detalla:

#### ***a. Concreto fresco***

- Trabajabilidad: Depende de esta propiedad la fácil o difícil elaboración del concreto. “Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado,

colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones” (Abanto, 2017, p.47).

- Segregación: Es una propiedad perjudicial para el concreto, ya que los gruesos se separan de los finos. “Es una propiedad del concreto fresco, que implica la descomposición de este en sus partes constituyentes o lo que es lo mismo, la separación del agregado grueso del mortero” (Abanto, 2017, p.50).
- Exudación: Es la propiedad que consiste, en que el agua aflore en la superficie final. “Se define como el ascenso de una parte del agua de la mezcla hacia la superficie como consecuencia de la sedimentación de los sólidos. Este fenómeno se presenta momentos después de que el concreto ha sido colocado en el encofrado” (Abanto, 2017, p.54).

#### ***b. Concreto endurecido***

- Resistencia: Es una propiedad característica del concreto endurecido, la cual dependerá de algunos factores: adecuado diseño, adecuado curado y adecuada elaboración y colocado del concreto “La resistencia del concreto no puede probarse en condición plástica, por lo que el procedimiento acostumbrado consiste en tomar muestras durante el mezclado, las cuales después de curarlas se someten a pruebas de compresión” (Abanto, 2017, p.50).
- Durabilidad: Es una propiedad no menos importante que la anterior, pero esta se verá en acción, al someter al concreto endurecido a la exposición del medio ambiente. “El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción

de productos químicos y desgaste, a los cuales estará sometido en el servicio” (Abanto, 2017, p.57).

- Impermeabilidad: Es una propiedad requerida en concreto endurecido expuesto directamente a la acción agua. “Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia reduciendo la cantidad de agua en la mezcla. El exceso de agua deja vacíos y cavidades después de la evaporación” (Abanto, 2017, p.58).

#### ***2.2.1.4 Ensayos de laboratorio***

Los ensayos de laboratorio son indispensables para hallar las propiedades físicas de los agregados, con la finalidad de elaborar el diseño de mezclas, mismo en el que se determinarán las proporciones de los componentes del concreto, a continuación, se detallan los ensayos de laboratorio:

##### ***a. Análisis granulométrico de los agregados***

Ensayo de laboratorio en el cual se selecciona los agregados a través del zarandeo, en función al tamaño. “Este método de ensayo se utiliza para determinar la distribución por tamaño de las partículas de los áridos finos y gruesos mediante el uso de tamices” (ASTM C 136, 2014, p.1).

##### ***b. Peso específico y absorción del agregado grueso***

“Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (no incluye el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado grueso” (ASTM C 127, 2007, p.1).

***c. Peso específico y absorción del agregado fino***

“Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (no incluye el volumen de los vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción de agregados finos” (ASTM C 128, 2012, p.1).

***d. Peso unitario suelto, compacto y contenido de vacíos de los agregados***

“Este método de prueba cubre la determinación de la densidad aparente (peso unitario) del agregado en una condición compacta o suelta y los vacíos calculados en agregados finos, gruesos o mixtos, en base a la misma determinación. Este método de prueba es aplicable a agregados que no excedan 6 pulg. (150 mm) en tamaño máximo nominal” (ASTM C 29, 1997, p.1).

***e. Módulo de fineza***

Es un indicador de la finura de un agregado, cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado. “Este método de prueba cubre la determinación de la distribución del tamaño de partícula de los agregados finos y gruesos por tamizado. Algunas especificaciones para agregados que hacen referencia a este método contienen requisitos de clasificación que incluyen tanto fracciones gruesas como finas” (ASTM C 136, 2014, p.1).

***f. Contenido de humedad total***

“Este método de ensayo incluye la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, incluye la humedad en la superficie y la humedad en los poros del agregado” (ASTM C 556, 1997, p.1).

### *g. Abrasión en máquina los ángeles*

“Este ensayo establece un procedimiento para agregados gruesos de tamaños más pequeños que 37,5 mm (1 ½ pulg.) que permite la determinación de la resistencia a la degradación utilizando la máquina de ensayo de los ángeles” (ASTM C 131, 2006, p.1).

### **2.2.2 Permeabilidad del concreto**

El concreto endurecido, en menor o mayor grado es permeable al agua, dicha permeabilidad se da a través de los vacíos que se forman en la pasta, asimismo la durabilidad del concreto está directamente relacionada a cuan impermeable sea el mismo, ver figura 10. “El concreto es un material compuesto por dos fases: la pasta y los agregados, la pasta rodea y cubre los agregados que constituyen así una constelación de incrustaciones duras, los vacíos en tal mezcla predominan en la pasta” (Sika mexicana, 2013, p.4).



*Figura 10.* Reducción de la permeabilidad del concreto  
Fuente: Sika mexicana, 2013



El ingreso de líquido al interior del concreto es perjudicial ya que afecta las propiedades del mismo. “La permeabilidad del concreto es importante con relación al hermetismo de las estructuras para retener líquidos y otras estructuras, así como en lo que se refiere a la presión hidrostática en las presas” (Portugal, 2007, p.237).

La permeabilidad del concreto se clasifica en tres niveles, los cuales servirán para medir los resultados de la presente investigación, tomando como referencia la norma NTC 4483, dichos niveles se detallan en la tabla 8:

**Tabla 8**

*Relación de la permeabilidad del concreto entre el coeficiente de permeabilidad y la profundidad de penetración*

Determinación	Unidad	Permeabilidad		
		Baja	Media	Alta
Coefficiente de permeabilidad al agua	m/s	$< 10^{-12}$	$10^{-12}$ a $10^{-10}$	$> 10^{-10}$
Profundidad de penetración	mm	$< 30$	30 a 60	$> 60$

Fuente: Instituto colombiano de normas técnicas y certificación, 1998

Nota: En la tabla se detalla el coeficiente de permeabilidad y la profundidad de penetración, los cuales están clasificados en tres niveles: baja, media y alta

### **2.2.2.1 Tipos de poros en el concreto**

#### **a. Poros capilares**

En la elaboración de un concreto se suele utilizar más agua de la requerida, por diferentes cuestiones (facilidad en la colocación, plasticidad del concreto, etc.). “El agua sobrante de la reacción química, en forma de gotas más o menos gruesas, se eleva por su menor peso hacia la superficie libre del hormigón, con la exudación correspondiente, dando lugar a un extenso sistema de canales capilares” (Gete, 1977, p.69).

Los capilares ocupan volumen en el concreto. “Los poros capilares ocupan del 8 % al 15 % del volumen total del hormigón, son prácticamente invisibles, por ser muy finos, y están comunicados unos con otros formando el sistema de canales del hormigón, en los que puede moverse el agua” (Gete, 1977, p.69).

#### ***b. Poros de aire***

Este tipo de poros se forman durante la elaboración del concreto. “Como la tensión superficial del agua es muy grande, estas burbujas de aire no son estables, reuniéndose formando grandes pompas, que se deshacen al preparar y colocar el hormigón” (Gete, 1977, p.70).

Los poros de aire se reducen con la adecuada compactación y colocación del concreto. “Su importancia disminuye al aumentar docilidad al hormigón, vibración y colocación adecuados. Se hallan en comunicación con los poros capilares. Un hormigón plástico normal puede contener de 1 % a 3 % de poros de aire, cuyo diámetro llega hasta unos 10 mm” (Gete, 1977, p.70).

#### ***c. Poros de agua***

“Son acumulaciones que se forman, principalmente, durante la eliminación del agua sobrante de amasado. Pueden encontrarse, especialmente, debajo de agregados grandes y planos. Entre otras cosas, perjudican mucho la resistencia del hormigón contra las heladas” (Gete, 1977, p.70).

#### ***2.2.2.2 Procedencia del agua***

La presencia del agua en las construcciones de concreto, son de diferentes tipos y tiene diferentes procedencias, que se detallan en la tabla 9:

**Tabla 9**

*Procedencia del agua en el concreto*

<b>Ítem</b>	<b>Tipo de humedad</b>	<b>Procedencia</b>
1	Humedad natural del suelo.	Aspirada por las fuerzas capilares y electro osmóticas.
2	Humedad de construcción.	Agua empleada en la elaboración del concreto.
3	Humedad de absorción y condensación.	Humedad de la atmósfera, condensada al interior del concreto.
4	Humedad por acción de la lluvia.	Lluvia que penetra en el interior del concreto.
5	Humedad por presión del agua acumulada.	Presión y penetración del agua acumulada en depósitos.
6	Humedad accidental.	Como consecuencia de fugas.

Fuente: Gete, 1977

### **2.2.2.3 Mecanismo de penetración del agua**

La penetración de un líquido se da a través de la red porosa del concreto, usando principios físicos como:

#### **a. Por permeabilidad (efecto de la carga de agua)**

“se refiere al movimiento de un líquido en presencia de un gradiente de presión como es el que tiene lugar en las estructuras de contención de agua. La permeabilidad se mide sobre medios saturados” (Sika mexicana, 2013, p.7).

“Es fundamentalmente función de la relación agua-cemento empleada en el amasado. La permeabilidad de un hormigón se reduce, considerablemente, al disminuir aquélla” (Gete, 1977, p.70).

#### **b. Por higroscopicidad (presión capilar o interna del agua)**

“La higroscopicidad es pequeña con capilares gruesos; disminuyendo la tensión capilar se conseguirá disminuir la higroscopicidad del hormigón, quedando mejor

aislado contra las variaciones higrométricas del ambiente y de la humectación de las paredes” (Gete, 1977, p.71).

En la figura 11 se detalla la influencia de la relación a/c en la permeabilidad del concreto:

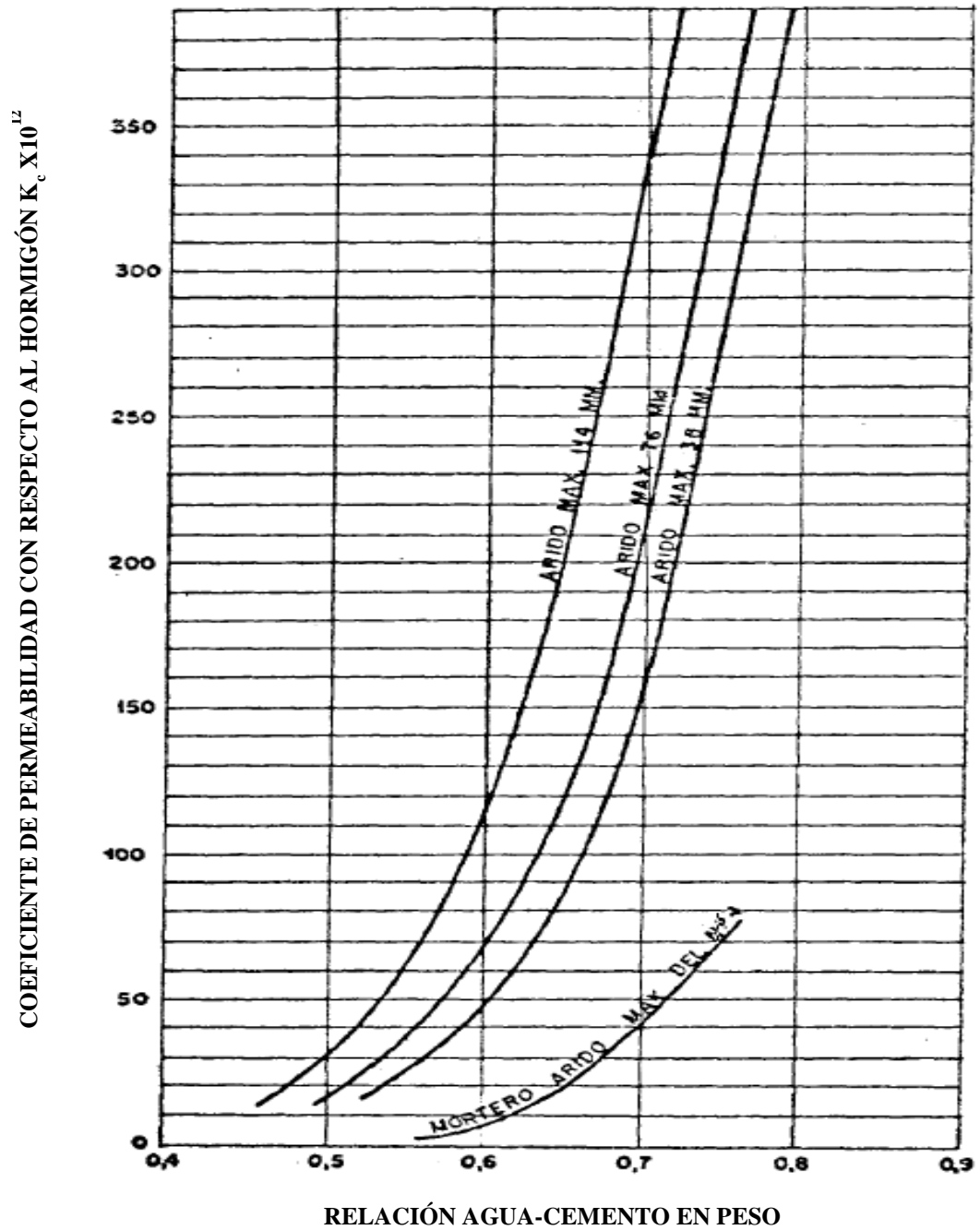


Figura 11. Influencia de la relación A/C sobre la permeabilidad del concreto  
Fuente: Gete, 1977

#### 2.2.2.4 Efectos de la penetración del agua en el concreto

La penetración del agua en el concreto es inminente, En la tabla 10 se muestra los efectos perjudiciales de la penetración del agua en el concreto:

**Tabla 10**

*Ingreso de agua y efecto en el concreto*

Ítem	Ingreso de agua	Efectos
1	Transporte de sulfatos.	Una vez en el interior generan nuevos sólidos que fisuran el material.
2	Ingreso de cloruros.	Una vez en el interior del concreto alcanzan el acero de refuerzo e inician o aceleran la corrosión del mismo.
3	Hielo-Deshielo.	Una vez en el interior, puede congelarse generando presiones sobre la fase sólida micro fisurándola ciclo a ciclo.
4	Lixiviación de hidróxido de calcio y álcalis.	La entrada y salida del líquido diluye y arrastra parte de los componentes de la pasta de cemento debilitando el material.
5	Generación del gel álcali-sílice.	La penetración de agua al interior del material aumenta las probabilidades de generación de gel y su volumen total.
6	Sustitución del Calcio por Magnesio.	En agua de mar solo es posible con la penetración del líquido al interior del material.

Fuente: Gete, 1977

#### 2.2.3 Método para determinar la permeabilidad del concreto

Para determinar la permeabilidad del concreto, primeramente, se halla la profundidad penetrada por agua en el concreto, a través del método de ingreso de agua a presión, para ello es necesario implementar el equipo mostrado en la figura 12, cabe señalar que dicho método se basa en la UNE-EN 12390-8.



Figura 12. Dispositivo de medición de la permeabilidad del concreto  
Fuente: Sika mexicana, 2013

Dependiendo del tipo del concreto, la permeabilidad del mismo se determina de dos formas:

### 2.2.3.1 Por flujo constante de agua

Generalmente utilizado para determinar la permeabilidad de concretos altamente permeables, por ejemplo, estructuras en cuales el agua tiene que drenar. “Primer caso: el agua atraviesa por completo el espécimen, es decir se satura el espécimen y se nota un flujo de agua en la cara opuesta a la que se aplica la presión” (Moreno, 2015, p.56), en dicho caso el cálculo se realiza con la fórmula de la ecuación 1:

$$K = \frac{\rho g L Q}{P A} \quad [\text{Ecuación 1}]$$

Donde: [U19]

K = Coeficiente de permeabilidad (m/s)

$\rho$  = Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = Aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ )

$L$  = Longitud del espécimen (m)

$Q$  = Caudal de agua ( $m^3/s$ )

$P$  = Presión de agua ( $N/m^2$ )

$A$  = Área transversal del espécimen ( $m^2$ )

### **2.2.3.2 Por profundidad de penetración de agua**

Generalmente utilizado para determinar la permeabilidad de concretos impermeables, por ejemplo, estructuras que almacenan agua, gas y otras sustancias. “Segundo caso: una vez cumplidos los tres días sin haber registrado flujo constante, inmediatamente se secciona el espécimen perpendicularmente a la cara sobre la cual se aplicó la presión de agua y se mide la profundidad de penetración” (Moreno, 2015, p.57), en dicho caso el cálculo se realiza con la fórmula de la ecuación 2:

$$K = \frac{D^2 v}{2Th} \quad [\text{Ecuación 2}]$$

Donde:

$K$  = Coeficiente de permeabilidad (m/s)

$D$  = Profundidad de penetración (m)

$v$  = Porosidad ASTM C 642 (%)

$T$  = Tiempo 72 h (s)

$h$  = Carga de presión de agua (m)

#### **2.2.4 Aditivos químicos para concreto**

Son sustancias diferentes que el cemento, agregados, agua, fibra o acero refuerzo, los cuales se añaden para modificar las propiedades del concreto ya sea en estado fresco o endurecido. “Son productos adicionales en pequeña proporción al concreto durante el mezclado en porcentajes entre 1 % y 5 % [U20]según el producto o el efecto deseado de la masa, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales” (Asocem e indecopi, 2009, p.1).

Portugal (2007) afirma que “La definición actual del concreto como un material de cinco componentes tomara mayor fuerza en los próximos años dadas las nuevas tecnologías, en las cuales los aditivos químicos tienen un papel muy importante” (p.84).

Harmsen (2002) afirma que “Los aditivos son sustancias que, añadidas al concreto, alteran sus propiedades tanto en estado fresco como endurecido. Por su naturaleza, se clasifican en aditivos químicos y aditivos minerales” (p.13).

“Es indudable que en la época Romana se utilizaron aditivos, adicionándolo al hormigón de cal y puzolanas. Hay quien supone que los primeros aditivos para los hormigones fueron la sangre y clara de huevo” (Rivera, 2015, p.233). En la figura 13 se muestra una construcción antigua:





Figura 13. Coliseo Romano  
Fuente: Rivera, 2015

### 2.2.4.1 Composición química

Los aditivos para concreto se componen por diferentes químicos, así como la acción producida, el campo de su aplicación y limitaciones, por ello se detalla en las tablas 11 al 18:

**Tabla 11**

*Aditivo incorporador de aire*

Composición química	Acción producida	Campo de aplicación	Limitaciones
Productos de naturaleza iónica	Incorpora microporos al hormigón produciendo: resistencia al hielo-deshielo, mayor docilidad, menor permeabilidad, eventual exudación.	Protección al: hielo-deshielo, pavimentos, protección contra agentes químicos.	Menor resistencia mecánica.

Fuente: Fernández, 2013

**Tabla 12**

*Aditivo plastificante o reductor de agua*

Composición química	Acción producida	Campo de aplicación	Limitaciones
Productos melamínicos o naftalínicos.	Mejorar la lubricación entre partículas, obteniéndose: Mayor docilidad con agua constante. Menor cantidad de agua para docilidad constante. Mayor facilidad de colocación y compactación.	Hormigones bombeados y premezclado. Hormigonado de elementos estrechos o prefabricados. Hormigones de alta resistencia.	Sobredosificados, pueden producir oclusión de aire y reducen resistencias mecánicas.

Fuente: Fernández, 2013

**Tabla 13***Aditivo fluidificante*

<b>Composición química</b>	<b>Acción producida</b>	<b>Campo de aplicación</b>	<b>Limitaciones</b>
Lignosulfatos o bien naftalenos	Aumentan fuertemente la docilidad, permitiendo: Reducir el agua de amasado para docilidad constante, con alto incremento de resistencia.	Hormigonado de piezas estrechas y difícilmente accesibles. Hormigonado en tiempo caluroso. Hormigones bombeados. Hormigones de alta resistencia. Hormigones para prefabricados. Reparaciones.	Su efecto dura un plazo breve.

Fuente: Fernández, 2013

**Tabla 14***Aditivo superplastificante*

<b>Composición química</b>	<b>Acción producida</b>	<b>Campo de aplicación</b>	<b>Limitaciones</b>
Condensados de formaldehido-β-naftalensulfonato (BNS). Condensados de formaldehido-melaminasulfonada (MNS). Sales de éter policarboxílico (PCE).	En general, actúan como reductores de agua o fluidificantes otorgando: Consistencia fluida sin disminución de resistencias. Calidad homogénea, mínima segregación y exudación. Disminución de retracciones y fisuración. Facilidad de colocación y mayor rendimiento de la faena de hormigonado.	Hormigón bombeado. Hormigón pretensado. Hormigón alta resistencia. Hormigón de buena terminación. Hormigón bajo agua. Morteros y lechadas de inyección. Hormigón para elementos esbeltos, con alta densidad de armaduras.	En sobredosis puede provocar segregación.

Fuente: Fernández, 2013

**Tabla 15***Aditivo acelerador de fraguado*

<b>Composición química</b>	<b>Acción producida</b>	<b>Campo de aplicación</b>	<b>Limitaciones</b>
Cloruro de calcio, cloruro sódico, cloruro amónico, cloruro férrico.	Aumentan las resistencias iniciales.	Hormigonado en tiempo frío. Hormigón proyectado. Hormigones prefabricados. Reducción de plazo desmolde. Reparaciones.	Usualmente contienen productos corrosivos, por lo que en el hormigón armado deben extremarse las precauciones.

Fuente: Fernández, 2013

**Tabla 16***Aditivo retardador de fraguado*

<b>Composición química</b>	<b>Acción producida</b>	<b>Campo de aplicación</b>	<b>Limitaciones</b>
Cloruro de aluminio, nitrato cálcico, cloruro de cobre, sulfato de cobre cloruro de zinc, etc.	Retrasan el inicio de fraguado manteniendo la docilidad por más tiempo. Reducen el riesgo de fisuración al permitir la disipación del calor de hidratación por más tiempo.	Hormigón en tiempo caluroso. Hormigón premezclado. Hormigón en masa. Transporte a gran distancia. Evitar juntas frías. Hormigón bombeado.	Sobredosificación puede originar una demora excesiva.

Fuente: Fernández, 2013

**Tabla 17***Aditivo impermeabilizante*

<b>Composición química</b>	<b>Acción producida</b>	<b>Campo de aplicación</b>	<b>Limitaciones</b>
Micro-cristales de silicatos y aluminato de calcio.	Disminuyen la absorción de humedad: Aumentan la impermeabilidad.	Hormigones subterráneos. Losas de cubiertas. Estanques de hormigón. Estucos exteriores. Pisos impermeables.	El uso debe unirse a una buena dosificación, compactación y curado.

Fuente: Fernández, 2013

**Tabla 18***Aditivo expansor reductor de agua*

<b>Composición química</b>	<b>Acción producida</b>	<b>Campo de aplicación</b>	<b>Limitaciones</b>
Plastificantes especiales y productos expansores finamente molidos.	Producen una ligera expansión de la masa de hormigón, contrarrestando las retracciones de éste.	Relleno de cavidades o grietas. Anclaje de pernos y estructuras. Grouting. Relleno de vainas en hormigón comprimido.	La sobredosis del aditivo es perjudicial

Fuente: Fernández, 2013

“La tri-etanol-amina y otras aminas derivadas, son compuestos orgánicos que producen aceleración en el fraguado y aumento de la resistencia a temprana edad del concreto” (Mielenz, 1960, p.182).

“Los aditivos reductores de agua y controladores del fraguado, se basan en mezclar tres clases de compuestos orgánicos: sales de lignina sulfatada, Sales de hidroxiaácidos y Polímeros hidroxilados, los cuales provocan retardo del fraguado del concreto cuando se emplean solos” (Mielenz, 1960, p.183).

“Existen retardantes que reducen apreciablemente el contenido de agua del concreto fresco, estos se basan en compuestos inorgánicos tales como: fosfatos solubles, boratos, sales de zinc, sílico fluoruros o compuestos orgánicos tales como: azúcar” (Mielenz, 1960, p.183).

#### 2.2.4.2 Clasificación según el comité 212 del ACI

En la tabla 19 se detalla la clasificación de aditivos según el comité 212 del ACI:

**Tabla 19**

*Clasificación de aditivos según el comité 212 del ACI*

Ítem	Clasificación
1	Aditivos acelerantes
2	Aditivos introductores de aire
3	Aditivos reductores de agua y reguladores de fraguado
4	Aditivos minerales finamente divididos
5	Aditivos miscelánea: <ul style="list-style-type: none"><li>- Generadores de gas</li><li>- Para inyecciones</li><li>- Generadores de expansión</li><li>- Ligantes.</li><li>- Para bombeo (ayuda)</li><li>- Colorantes</li><li>- Floculantes</li><li>- Fungicidas</li><li>- Impermeabilizantes</li><li>- Reductores de permeabilidad</li><li>- Para reducir la expansión álcali-árido</li><li>- Inhibidores de corrosión</li></ul>

Fuente: Comité 212 ACI, 1984

#### 2.2.4.3 Clasificación según la norma ASTM C 494

En la tabla 20 se detalla la clasificación de aditivos según la norma técnica ASTM C 494:

**Tabla 20**

*Clasificación de aditivos según la norma ASTM C 494*

Ítem	Clasificación
1	Tipo A: Reductor de agua
2	Tipo B: Retardante
3	Tipo C: Acelerante
4	Tipo D: Reductor de agua retardante
5	Tipo E: Reductor de agua acelerante
6	Tipo F: Súper reductor de agua
7	Tipo G: Súper reductor de agua retardante

Fuente: ASTM C 494, 1992

#### 2.2.4.4 Efecto de los aditivos químicos en las propiedades del concreto

Los efectos producidos en las propiedades del concreto son diversos, tanto en concreto fresco y endurecido, en la tabla 21 se detallan algunos efectos:

**Tabla 21**

*Efectos producidos por los aditivos en el concreto*

Ítem	Concreto fresco	Concreto endurecido
1	Incrementar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua.	Disminuir el calor de hidratación.
2	Disminuir el contenido de agua sin modificar su trabajabilidad.	Desarrollo inicial de resistencia.
3	Reducir o prevenir asentamientos de la mezcla.	Incrementar las resistencias mecánicas del concreto.
4	Crear una ligera expansión.	Incrementar la durabilidad del concreto.
5	Modificar la velocidad y/o el volumen de exudación.	Disminuir el flujo capilar del agua.
6	Reducir la segregación.	Disminuir la permeabilidad de los líquidos.
7	Facilitar el bombeo.	Mejorar la adherencia concreto – acero de refuerzo.
8	Reducir la velocidad de pérdida de asentamiento.	Mejorar la resistencia al impacto y la abrasión.

Fuente: Asocem e indecopi, 2009

La figura 14 expresa las diferentes alternativas para modificar la resistencia y trabajabilidad del concreto con aditivos o con modificaciones de diseño de mezclas.

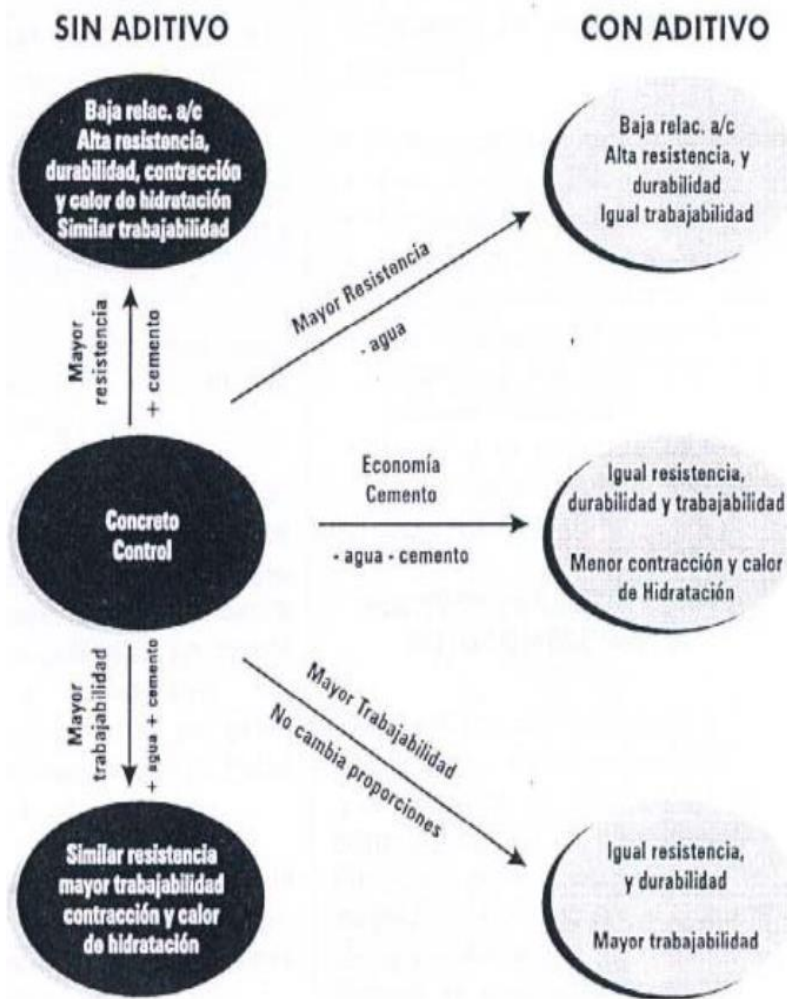


Figura 14. Diferentes alternativas para modificar la resistencia y trabajabilidad  
Fuente: Asocem e indecopi, 2009

### 2.2.5 Impermeabilización del concreto

“La razón por la que se emplean los aditivos químicos impermeabilizantes es para reducir la permeabilidad, asimismo impedir la aparición de eflorescencias, para aminorar los riesgos de corrosión del acero, de carbonatación y la acción de hielo/deshielo” (Sika mexicana, 2013, p.20).

“Los aditivos impermeabilizantes son usados en concretos que van a estar en contacto con el agua y en aquellas estructuras que contienen líquidos, como

reservorios, tanques, estructuras enterradas, túneles, presas, puentes, muros de contención, etc.” (Sika mexicana, 2013, p.20).

“Estas sustancias aumentan la vida útil del concreto reforzado, contribuyen a alcanzar el cometido de mantener el agua donde se ha previsto que permanezca o fluya” (Sika mexicana, 2013, p.20).

En la investigación se utilizaron los siguientes aditivos impermeabilizantes, los cuales son libres de cloruros debido a que estos son perjudiciales para el acero de refuerzo.

#### **2.2.5.1 Aditivo impermeabilizante Z**

Aditivo de fabricación nacional, impermeabilizante integral para morteros y concretos, se presenta como liquido espeso. En la tabla 22 se detalla los aditivos impermeabilizantes Z 1 y en la tabla 23 se describe ventajas, usos y datos técnicos:

**Tabla 22**

*Descripción de los aditivos impermeabilizantes Z*

<b>Ítem</b>	<b>Aditivo</b>	<b>Descripción</b>
1	Z 1 líquido	Impermeabilizante integral para morteros y concretos, se presenta como un líquido espeso. Cumple con la norma ASTM C31 – ASTM C39.
2	Z 1 polvo	Aditivo hidrófugo de masa impermeabilizante integral para mortero y concreto. Cumple con la norma ASTM C31 – ASTM C39

Fuente: Z aditivos S A, 2018



**Tabla 23**

*Ventajas, usos y datos técnicos de los aditivos impermeabilizantes Z*

Ítem	Ventajas	Usos	Datos técnicos
1	Disminuye la permeabilidad	En pisos,	Densidad (kg/l): 0,98
2	Fácil aplicación.	cimientos,	Color: Amarillo
3	No necesita manos expertas.	reservorios,	Aspecto: Líquido
4	Se diluye en el agua en que se va preparar el mortero, hormigón o concreto.	tanques elevados; bloqueando los poros capilares.	
5	Ayuda a dar plasticidad a la mezcla.		

Fuente: Z aditivos S A, 2018



Figura 15. Presentación del aditivo impermeabilizante Z 1 líquido en gln

#### **2.2.5.2 Aditivo impermeabilizante Chema**

Aditivo de fabricación nacional, impermeabilizante integral de color blanco que disminuye la permeabilidad y evita la humedad por capilaridad, tanto en morteros como en concretos. Apropiado para reservorios y tanques de agua potable. En la tabla 24 se detalla los aditivos impermeabilizantes Chema y en la tabla 25 se describe ventajas, usos y datos técnicos:

**Tabla 24***Descripción de los aditivos impermeabilizantes Chema*

Ítem	Aditivo	Descripción
1	Chema 1 líquido	Es un aditivo integral de color amarillo que disminuye la permeabilidad y evita la humedad por capilaridad, tanto en morteros como concretos.
2	Chema 1 polvo	Es un impermeabilizante e hidrófugo para concretos y morteros. Actúa obstruyendo la porosidad dentro de los morteros o concretos y evita la succión interna.
3	Chemita polvo	Es un impermeabilizante integral que le otorga a los morteros y concretos características hidrófugas de masa.
4	Chema plast	Es un plastificante de color marrón a base de agentes dispersantes de alta eficacia exento de cloruros.
5	Chemaplast impermeabilizante	Es un plastificante e impermeabilizante libre de cloruros que reduce la permeabilidad y aumenta la trabajabilidad del concreto obteniendo una reducción en la relación a/c.

Fuente: Chem masters del Perú SA, 2018

**Tabla 25***Ventajas, usos y datos técnicos de los aditivos impermeabilizantes Chema*

Ítem	Ventajas	Usos	Datos técnicos
1	Evita la aparición del salitre.	Para vaciados en concretos y morteros. Es apropiado para obras hidráulicas, represas, canales de irrigación o regadío, tanques de agua, piscinas. En general en estructuras que se encuentren sometidas a grandes presiones de agua.	Densidad (kg/lt): 0,99 pH: 8 - 13 Viscosidad (ku): 44 - 55 Color: Blanco Aspecto: Líquido
2	Asegura mayor estanqueidad de líquidos en morteros y concretos.		
3	Mejora la plasticidad de la mezcla.		
4	Fácil de mezclar en morteros y concretos.		
5	La resistencia mecánica no resulta disminuida.		

Fuente: Chem masters del Perú SA, 2018



Figura 16. Presentación del aditivo impermeabilizante Chema 1 líquido en gln

### ***2.2.5.3 Aditivo impermeabilizante Sika***

Aditivo de fabricación nacional, impermeabilizante a base acuosa de materiales inorgánicos de forma coloidal, que obstruye los poros capilares del concreto o mortero mediante el gel incorporado. En la tabla 26 se detalla los aditivos impermeabilizantes Sika y en la tabla 27 se describe ventajas, usos y datos técnicos:

**Tabla 26***Descripción de los aditivos impermeabilizantes Sika*

Ítem	Aditivo	Descripción
1	Sikacem impermeable	Es un aditivo impermeabilizante líquido especialmente indicado para concreto y mortero. Es libre de cloruros y actúa como bloqueador de poros.
2	Sika 1 líquido	Es un impermeabilizante a base acuosa de materiales inorgánicos de forma coloidal, que obstruye los poros y capilares del concreto o mortero mediante el gel incorporado.
3	Sika 1 polvo	Es un aditivo en polvo de fraguado normal, para impermeabilizar morteros de pega o enlucidos. No contiene cloruros y su uso es sencillo.
4	Sika 100	Es un aditivo reductor de la permeabilidad del concreto, forma gel en los poros capilares del concreto evitando el paso del agua hacia la cara opuesta de la estructura.
5	Plastiment HE - 98	Es un aditivo plastificante e impermeabilizante libre de cloruros que produce en el concreto un aumento en su trabajabilidad logrando una reducción en la relación agua / cemento.
6	Sika WT-100 PE	Es un impermeabilizante sin cloruros que actúa como un bloqueador de poros y está diseñado tanto para detener la penetración de agua por absorción capilar como la penetración de agua bajo presión.

Fuente: Sika Perú S.A.C, 2018

**Tabla 27***Ventajas, usos y datos técnicos de los aditivos impermeabilizantes Sika*

Ítem	Ventajas	Usos	Datos técnicos
1	Asegura la impermeabilidad de morteros y concretos aún bajo presión de agua.	Subterráneos, sobre cimientos y bases en contacto con el terreno.	Densidad (kg/lt): 0,95±0,03 Color: Amarillo tenue Aspecto: Líquido ligeramente cremoso
2	Permite la ventilación natural de los elementos constructivos.	Tanques y estanques de agua, piscinas, canales, reservorios y otros.	

Fuente: Sika Perú S.A.C, 2018



Figura 17. Presentación del aditivo impermeabilizante Sika 1 líquido en gln

## 2.3 Definición de términos

### 2.3.1 Definición de evaluación

Es la acción de valorar, con lo cual se puede controlar o medir una determinada situación, a fin de obtener resultados. Evaluación deriva de evaluar, que proviene del francés évaluer, que significa determinar el valor de algo.

Mager (1975) afirma que evaluación es el “Acto de comparar una medida con un estándar y emitir un juicio basado en la comparación” (p.20).

Rodríguez (2005) afirma que evaluación es el “Conjunto de procesos sistemáticos de recogida, análisis e interpretación de información válida y fiable, que en comparación con una referencia o criterio nos permita llegar a una decisión que favorezca a la mejora del objeto evaluado” (p.129).

Zabalza (2001) afirma que “En evaluar una actividad, una de las unidades de competencia puede ser el identificar los aspectos relevantes del aprendizaje a evaluar, otra preparar los protocolos de recogida de información, otra analizar los datos, otra preparar los informes de actividad” (p.8).

### **2.3.2 Definición de aditivos impermeabilizantes**

Son sustancias que pueden tener aspecto líquido o en polvo, las cuales pueden ser aplicadas en la elaboración del concreto o mortero, las cuales son capaces de impermeabilizar el concreto, a través de sellar la porosidad capilar. Utilizadas especialmente en estructuras hidráulicas tales como: represas, reservorios, canales, tanques cisterna, piscina, etc. “Los aditivos impermeabilizantes son usados en concretos que van a estar en contacto con el agua y en aquellas estructuras que contienen líquidos, como tanques, estructuras enterradas, túneles, presas, puentes, muros de contención, instalaciones de centros acuáticos etc.” (Sika mexicana, 2013, p.20).

### **2.3.3 Definición de eficiencia**

Es la capacidad de lograr ese efecto en cuestión con el mínimo de recursos posibles o en el menor tiempo posible. “La eficiencia se define como alcanzar los objetivos por medio de la elección de alternativas que puedan suministrar el mayor beneficio” (Lam, 2008, p.1).

### **2.3.4 Definición de concreto**

Es un compuesto a base de cemento, agregados, agua y aditivos; el cual presenta propiedades en estado fresco: plasticidad, manejabilidad, etc. y endurecido: resistencia, durabilidad, etc.; asimismo es uno de los principales intervinientes en el campo de la construcción. “El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El cemento, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso llenando los vacíos entre ellas” (Harmsen, 2002, p.11).

### **2.3.5 Definición de estructuras hidráulicas**

Son construcciones diseñadas para contener o discurrir líquidos (agua) permanentemente, estas pueden ser: represas, reservorios, canales, etc. “Las estructuras hidráulicas son obras de ingeniería necesarias para lograr el aprovechamiento del recurso hídrico y controlar su acción destructiva. Trabajan en la mayoría de los casos en combinación con elementos y equipos mecánicos” (Guevara, 1992, p.1).

## **CAPÍTULO III**

### **MÉTODO**

#### **3.1 Tipo de investigación**

Best (1982) afirma que la investigación aplicada “Enfoca la atención sobre solución de teorías. Concierno a un grupo particular más bien que a todos en general. Se refiere a resultados inmediatos y se interesa en el perfeccionamiento de los individuos implicados en el proceso de la investigación” (p.9).

Valderrama (2002) afirma que “La investigación aplicada busca conocer para hacer, para actuar, para construir, para modificar; le preocupa la aplicación inmediata sobre una realidad concreta. Este tipo de investigación es la que realizan o deben realizar los egresados del pre y post grado” (p.29).

Se adoptó el tipo de investigación Aplicada, ya que esta se orienta a buscar conocimientos y aplicarlos para plantear soluciones reales. La presente investigación indagó información relacionada al tema (normas) y ejecutó procedimientos (ensayos), lo cual se dio través de la adición de aditivos impermeabilizantes en el concreto, a fin de solucionar la problemática planteada en dicha investigación.



## **3.2 Diseño de la investigación**

Hernández (1998) afirma que “El termino diseño se refiere al plan o estrategia concebida para responder a las preguntas de investigación. El diseño señala al investigador lo que debe hacer para alcanzar sus objetivos, contestar interrogantes y analizar la certeza de las hipótesis” (p.106).

Valderrama (2002) afirma que “Se le llaman diseños cuasiexperimentales cuando no es factible emplear el diseño experimental verdadero. Los diseños cuasiexperimentales también manipulan deliberadamente al menos una variable independiente para ver su efecto y relación con una o más variables dependientes” (p.57).

Se adoptó un diseño cuasiexperimental, ya que permite manipular la variable independiente para verificar el efecto y relación en la variable dependiente. La investigación tuvo libertad en adicionar porcentajes (0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 %; 3,0 %; 3,5 %; 4,0 %; 4,5 % y 5,0 %) de aditivo impermeabilizante, a fin de comprobar que dicha adición alcanza eficiencia del concreto en estructuras hidráulicas.

## **3.3 Población y muestra**

### **3.3.1 Población**

La población estuvo constituida por el concreto  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ .

### 3.3.2 Muestra

La muestra estuvo constituida por sesenta y seis testigos de concreto (D= 6"; H= 4"), lo cual se detalla en la tabla 28:

**Tabla 28**

*Muestra de investigación*

<b>f'c = 175 kg/cm<sup>2</sup></b>		<b>f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup></b>		<b>Total</b>
<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cant</b>	
Con aditivo Z 1 líquido	10	Con aditivo Z 1 líquido	10	
Sin aditivo	3	Sin aditivo	3	
Con aditivo Chema 1 líquido	10	Con aditivo Chema 1 líquido	10	
Con aditivo Sika 1 líquido	10	Con aditivo Sika 1 líquido	10	
	33		33	<b>66</b>

Nota: En la tabla se aprecia de forma detallada la muestra adoptada por la presente investigación

Cabe señalar que la cantidad determinada de testigos de concreto es el 100 % de la investigación, con los cuales se obtuvieron los objetivos planteados, por lo tanto, no se requirió aplicar la estadística para determinar la muestra.

### 3.4 Descripción de instrumentos para recolección de datos

La presente investigación recurrió a la utilización de software Excel – 2016, para la creación y tablas, a fin de registrar los datos:

- Obtención de testigos de concreto
- Ensayos de permeabilidad al concreto
- Cálculo del coeficiente de permeabilidad (K) del concreto

## **CAPÍTULO IV**

### **PROCEDIMIENTO**

Para obtener los objetivos planteados, la presente investigación efectuó: ensayos de laboratorio, diseños de mezclas y ensayos de permeabilidad, lo cual se describe a continuación:

#### **4.1 Ensayos de laboratorio de los agregados**

Se efectuó ensayos de laboratorio para hallar las propiedades físicas de los agregados grueso y fino.

- Agregado grueso: Para la investigación se utilizó agregado proveniente de la cantera Curibaya ubicada en el distrito del mismo nombre, provincia Candarave, región Tacna.
- Agregado fino: Para la investigación se utilizó agregado proveniente de la cantera Aricota ubicada en el C.P. del mismo nombre, perteneciente al distrito Curibaya, provincia Candarave, región Tacna.

#### 4.1.1 Análisis granulométrico de los agregados

##### 4.1.1.1 Agregado grueso

- Muestra: Peso = 5 851,00 g (después del cuarteado), cabe señalar que, para determinar el peso de la muestra, se consideró lo estipulado en la NTP 400,012; se detalla en la figura 18:

Tamaño Máximo Nominal Aberturas Cuadradas mm (pulg)	Cantidad de la Muestra de Ensayo, Mínimo kg (lb)
9,5 (3/8)	1 (2)
12,5 (1/2)	2 (4)
19,0 (3/4)	5 (11)
25,0 (1)	10 (22)
37,5 (1 ½)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 ½)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 ½)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

Figura 18. Cantidad mínima de muestra  
Fuente: Comité técnico de normalización, 2001

- Equipos y herramientas: Balanza (precisión 0,5 g), horno (cap. 110° C), cucharón, brocha, pala, Tamices: 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y N° 4.
- Procedimiento: se colocó el agregado sobre una superficie lisa y libre de partículas diferentes que el agregado, se inició con el cuarteado del agregado, que consistió en partir en cuatro partes iguales, se seleccionaron dos partes diagonalmente, las cuales se separaron y se registró el peso, se secó en el horno a una temperatura de 110° C hasta peso constante, se dejó enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se efectuó el análisis granulométrico, el cual consistió en incorporar el agregado grueso ordenadamente en los tamices de forma descendente (tamiz de mayor a menor abertura), dichos

tamices se ejercitaron de forma horizontal y vertical sin dejar caer, con la finalidad de que dicho agregado pasara por sus aberturas, conforme se fue avanzando, se registró el peso retenido en cada tamiz.

Se registraron los pesos retenidos en cada tamiz, tal es así que, en la tabla 29 se presentan la distribución de dichos pesos retenidos parciales, pesos retenidos acumulados, porcentaje retenido parcial, porcentaje retenido acumulado y porcentaje pasante, los cuales se calcularon a través de las siguientes ecuaciones:

$$PRA=PRP+PRP_i \quad [\text{Ecuación 3}]$$

$$\%RP=\frac{PRP}{PT}100 \quad [\text{Ecuación 4}]$$

$$\%RA=\frac{PRA}{PT}100 \quad [\text{Ecuación 5}]$$

$$\%P=100-\%RA \quad [\text{Ecuación 6}]$$

Donde:

PRP = Peso retenido parcial

PRP<sub>i</sub> = Peso retenido parcial de tamices de abertura mayor

PRA = Peso retenido acumulado

PT = Peso total de muestra

%RP = Porcentaje retenido parcial

%RA = Porcentaje retenido acumulando

%P = Porcentaje que pasa

**Tabla 29***Análisis granulométrico del agregado grueso*

Tamices ASTM		Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasa
pulg.	mm					
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,500	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,600	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	<b>757,00</b>	<b>757,00</b>	<b>12,94</b>	<b>12,94</b>	<b>87,06</b>
1/2"	12,700	<b>3 099,00</b>	<b>3 856,00</b>	<b>52,97</b>	<b>65,90</b>	<b>34,10</b>
3/8"	9,525	<b>1 798,00</b>	<b>5 654,00</b>	<b>30,73</b>	<b>96,63</b>	<b>3,37</b>
1/4"	6,350	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N° 4	4,760	<b>197,00</b>	<b>5 851,00</b>	<b>3,37</b>	<b>100,00</b>	<b>0,00</b>
N° 8	2,380	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 10	2,000	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 16	1,190	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 20	0,840	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 30	0,590	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 40	0,420	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 50	0,300	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 60	0,250	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 80	0,180	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 100	0,149	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 200	0,074	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
Base		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Peso total (g)		5 851,00				

Nota: En la tabla se muestra la distribución del agregado grueso en los diferentes tamices

Con el porcentaje pasante de la tabla 29 se presenta la gradación del agregado grueso en forma gráfica, lo cual se detalla en la figura 19:

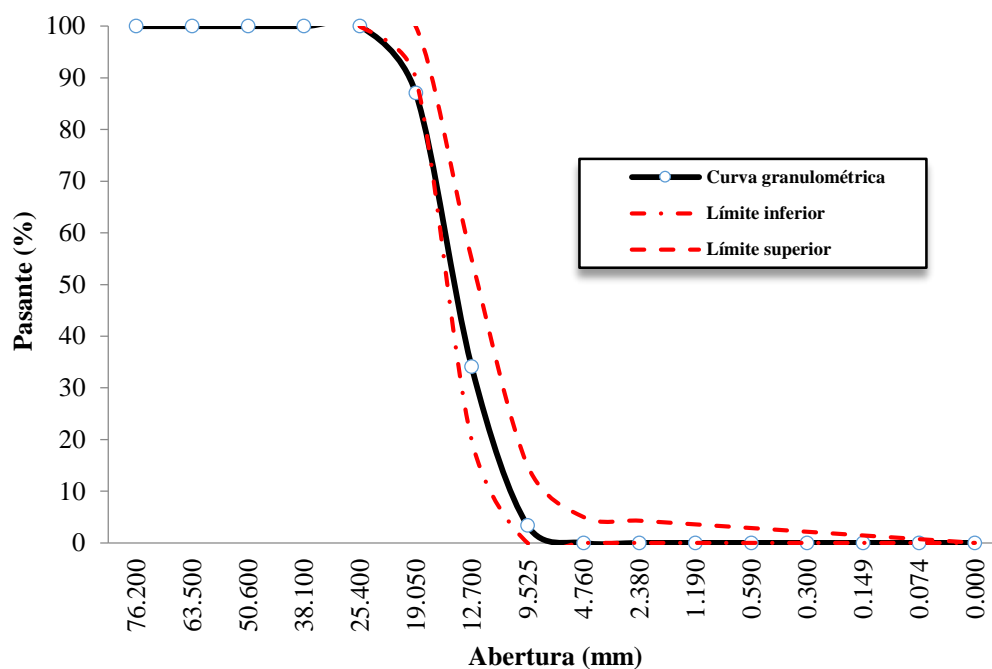


Figura 19. Curva granulométrica del agregado grueso

#### 4.1.1.2 Agregado fino

- Muestra: Peso = 300,00 g (después del cuarteado), cabe señalar que, para determinar el peso de la muestra, se consideró lo estipulado en la NTP 400,012.
- Equipos y herramientas: Balanza (precisión 0,1 g), horno (cap. 110° C), cucharón, brocha, pala, Tamices: 3/8", 1/4", N° 4, N° 8, N° 10, N° 16, N° 20, N° 30, N° 40, N° 50, N° 60 N° 80, N° 100, N° 200 y base.
- Procedimiento: se colocó el agregado sobre una superficie lisa y libre de partículas diferentes que el agregado, se inició con el cuarteado del agregado, que consistió en partir en cuatro partes iguales, se seleccionaron dos partes diagonalmente, las cuales se separaron y se registró el peso, se secó en el horno a una temperatura de 110° C hasta peso constante, se dejó enfriar a temperatura ambiente y posteriormente se efectuó el análisis granulométrico,

el cual consistió en incorporar el agregado ordenadamente en los tamices de forma descendente (tamiz de mayor a menor abertura), dichos tamices se ejercitaron de forma horizontal y vertical sin dejar caer, con la finalidad de que dicho agregado pasara por sus aberturas, conforme se fue avanzando, se registró el peso retenido en cada tamiz.

Se registraron los pesos retenidos en cada tamiz, tal es así que, en la tabla 30 se presentan la distribución de dichos pesos retenidos parciales, pesos retenidos acumulados, porcentaje retenido parcial, porcentaje retenido acumulado y porcentaje pasante, los cuales se calcularon a través de las ecuaciones 3, 4, 5 y 6 respectivamente:



**Tabla 30***Análisis granulométrico del agregado fino*

Tamices ASTM		Peso retenido parcial	Peso retenido acumulado	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Pasa
pulg.	mm					
3"	76,200	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,500	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,600	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,700	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,525	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/4"	6,350	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,760	<b>10,80</b>	<b>10,80</b>	<b>3,60</b>	<b>3,60</b>	<b>96,40</b>
N° 8	2,380	<b>20,60</b>	<b>31,40</b>	<b>6,87</b>	<b>10,47</b>	<b>89,53</b>
N° 10	2,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N° 16	1,190	<b>32,80</b>	<b>64,20</b>	<b>10,93</b>	<b>21,40</b>	<b>78,60</b>
N° 20	0,840	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N° 30	0,590	<b>58,40</b>	<b>122,60</b>	<b>19,47</b>	<b>40,87</b>	<b>59,13</b>
N° 40	0,420	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N° 50	0,300	<b>89,00</b>	<b>211,60</b>	<b>29,67</b>	<b>70,53</b>	<b>29,47</b>
N° 60	0,250	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N° 80	0,180	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
N° 100	0,149	<b>53,70</b>	<b>265,30</b>	<b>17,90</b>	<b>88,43</b>	<b>11,57</b>
N° 200	0,074	<b>20,40</b>	<b>285,70</b>	<b>6,80</b>	<b>95,23</b>	<b>4,77</b>
Base		14,30	300,00	4,77	100,00	0,00
Peso total (g)		300,00				

Nota: En la tabla se muestra la distribución del agregado fino en los diferentes tamices

Con el porcentaje pasante de la tabla 30 se presenta la gradación del agregado fino en forma gráfica, lo cual se detalla en la figura 20:

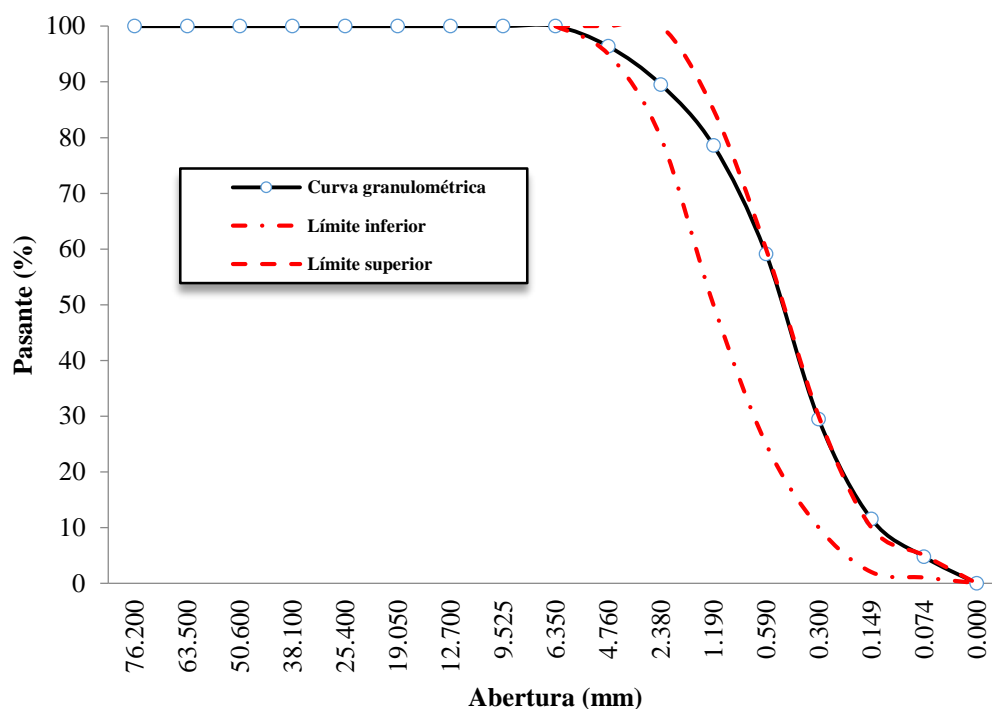


Figura 20. Curva granulométrica del agregado fino

#### 4.1.2 Peso específico y absorción de los agregados

##### 4.1.2.1 Agregado grueso

- Muestra: La muestra se detalla en la tabla 31:

**Tabla 31**

*Pesos de la muestra para cálculo de peso específico y absorción del agregado grueso*

Ítem	Descripción	Und	Peso
1	Peso de la muestra seca en el aire (A)	g	200,00
2	Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (B)	g	200,95
3	Peso en el agua de la muestra saturada (C)	g	129,78

- Equipos y herramientas: Balanza (precisión 0,5 g), cesta con malla de alambre, depósito de agua, tamices, horno.
- Procedimiento: El cálculo se efectuó con las ecuaciones 7, 8, 9 y 10 las cuales se detallan:

$$P_{em} = \frac{A}{(B-C)} 100 \quad [\text{Ecuación 7}]$$

$$P_{eSSS} = \frac{B}{(B-C)} 100 \quad [\text{Ecuación 8}]$$

$$P_{ea} = \frac{A}{(A-C)} 100 \quad [\text{Ecuación 9}]$$

$$ab.\% = \frac{(B-A)}{A} 100 \quad [\text{Ecuación 10}]$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire (g)

B = Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire (g)

C = Peso en el agua de la muestra saturada (g)

Ab. % = Absorción (%)

Por lo tanto:

P <sub>em</sub> :	2 810,00	kg/m <sup>3</sup>
P <sub>eSSS</sub> :	2 823,41	kg/m <sup>3</sup>
P <sub>ea</sub> :	2 848,19	kg/m <sup>3</sup>
Ab. %:	0,48	%

#### 4.1.2.2 Agregado fino

- Muestra: La muestra se detalla en la tabla 32:

**Tabla 32**

*Pesos de la muestra para cálculo de peso específico y absorción del agregado fino*

Ítem	Descripción	Und	Peso
1	Peso de la muestra seca al horno (A)	g	97,99
2	Peso del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración (B)	g	675,43
3	Peso del picnómetro lleno de la muestra + el agua hasta la marca de cal. (C)	g	737,00
4	Peso de la muestra saturado superficialmente seca (S)	g	100,00

- Equipos y herramientas: Balanza (precisión 0,5 g), picnómetro, horno, embudo, espátula y frasco lavador.
- Procedimiento: El cálculo se efectuó con las ecuaciones 11, 12, 13 y 14, las cuales se detallan:

$$P_{em} = \frac{A}{(B+S-C)} \quad [\text{Ecuación 11}]$$

$$P_{esss} = \frac{S}{(B+S-C)} \quad [\text{Ecuación 12}]$$

$$P_{ea} = \frac{A}{(B+A-C)} \quad [\text{Ecuación 13}]$$

$$\text{ab. \%} = \frac{(S-A)}{A} \quad [\text{Ecuación 14}]$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca al horno (g)

B = Peso del picnómetro llenado de agua hasta la marca de calibración (g)

C = Peso del picnómetro lleno de la muestra y el agua hasta la marca de calibración (g)

S = Peso de la muestra de saturado superficialmente seca (utilizado en el procedimiento gravimétrico para la densidad y la densidad relativa (gravedad específica), o para la absorción con ambos procedimientos) (g)

Ab. % = Absorción (%)

Por tanto:

$P_{em}$	2 550,00	$\text{kg/m}^3$
$P_{eSSS}$	2 602,30	$\text{kg/m}^3$
$P_{ea}$	2 690,74	$\text{kg/m}^3$
Ab. %	2,05	%

### 4.1.3 Peso unitario suelto de los agregados (PUS)

#### 4.1.3.1 Agregado grueso

- Muestra: La muestra estuvo seca (peso constante) antes de efectuar el ensayo, el registro de pesos se detalla en la tabla 33:

**Tabla 33**

*Registro de pesos para ensayo PUS del agregado grueso*

Ítem	Descripción	Und	Peso
1	1 era muestra (peso del agregado g. + peso del molde)	kg	29,920
2	2 da muestra (peso del agregado g. + peso del molde)	kg	30,070
3	3 era muestra (peso del agregado g. + peso del molde)	kg	30,050
Total:			90,040
<b>Peso promedio (PP):</b>			<b>30,013</b>

Nota: En la tabla se detalla el registro de los pesos (peso del agregado grueso + peso del molde), los cuales fueron tres veces, así como el total y peso promedio

- Equipos y herramientas: Molde, varilla, balanza, cucharón.
- Procedimiento: Se incorporó el agregado grueso en el molde, utilizando el cucharón hasta rebosar, asimismo se preveo que la altura entre la descarga y la parte superior del molde sea menor a cinco cm, una vez llenado se enrazó con la varilla y se registró el peso (peso del agregado grueso + peso del molde); el cálculo de peso unitario suelto se efectuó a través de la ecuación 15, la cual se detalla:

$$PUS = \frac{PP - P}{V} \quad [\text{Ecuación 15}]$$

Donde:

PUS = Peso unitario suelto (kg/m<sup>3</sup>)

PP = Peso promedio (kg)

P = Peso de molde (9,694 kg)

V = Volumen de molde (0,014158 m<sup>3</sup>)

Por tanto, PUS = 1 435,16 kg/m<sup>3</sup>

#### 4.1.3.2 Agregado fino

- Muestra: La muestra estuvo seca (peso constante) antes de efectuar el ensayo, el registro de pesos se detalla en la tabla 34:

**Tabla 34**

*Registro de pesos para ensayo PUS del agregado fino*

Ítem	Descripción	Und	Peso
1	1 era muestra (peso del agregado f. + peso del molde)	kg	9,280
2	2 da muestra (peso del agregado f. + peso del molde)	kg	9,272
3	3 era muestra (peso del agregado f. + peso del molde)	kg	9,290
			Total: 27,842
			<b>Peso promedio (PP): 9,281</b>

Nota: En la tabla se detalla el registro de los pesos (peso del agregado fino + peso del molde), los cuales fueron tres veces, así como el total y peso promedio

- Equipos y herramientas: Molde, varilla, balanza, cucharón.
- Procedimiento: Se incorporó el agregado fino en el molde, utilizando el cucharón hasta rebosar, asimismo se preveo que la altura entre la descarga y la parte superior del molde sea menor a cinco cm, una vez llenado se enrazó con la varilla y se registró el peso (peso del agregado fino + peso del molde); el cálculo de peso unitario suelto se efectuó a través de la ecuación 15:

Donde:

P = Peso de molde (5,235 kg)

V = Volumen de molde (0,002830 m<sup>3</sup>)

Por tanto, PUS = 1 429,68 kg/m<sup>3</sup>

#### 4.1.4 Peso unitario compacto de los agregados (PUC)

##### 4.1.4.1 Agregado grueso

- Muestra: La muestra estuvo seca (peso constante) antes de efectuar el ensayo, el registro de pesos se detalla en la tabla 35:

**Tabla 35**

*Registro de pesos para ensayo PUC del agregado grueso*

Ítem	Descripción	Und	Peso
1	1 era muestra (peso del agregado g. + peso del molde)	kg	32,160
2	2 da muestra (peso del agregado g. + peso del molde)	kg	32,330
3	3 era muestra (peso del agregado g. + peso del molde)	kg	32,150
Total:			96,640
<b>Peso promedio (PP):</b>			<b>32,213</b>

Nota: En la tabla se detalla el registro de los pesos (peso del agregado grueso + peso del molde), los cuales fueron tres veces, así como el total y peso promedio

- Equipos y herramientas: Molde, varilla, balanza, cucharón.
- Procedimiento: Se registró el peso del molde vacío, se incorporó agregado grueso en tres capas, se apisonó veinticinco veces en cada capa, una vez lleno se enrazó con la ayuda de la varilla y se registró el peso (peso del agregado grueso + peso del molde); el cálculo de peso unitario compactado se efectuó a través de la ecuación 16:

$$PUC = \frac{PP - P}{V} \quad [\text{Ecuación 16}]$$

Donde:

PUC = Peso unitario compactado (kg/m<sup>3</sup>)

PP = Peso promedio (kg)

P = Peso de molde (9,694 kg)

V = Volumen de molde (0,014158 m<sup>3</sup>)

Por tanto, PUC = 1 590,55 kg/m<sup>3</sup>

#### 4.1.4.2 Agregado fino

- Muestra: La muestra estuvo seca (peso constante) antes de efectuar el ensayo, el registro de pesos se detalla en la tabla 36:

**Tabla 36**

*Registro de pesos para ensayo PUC del agregado fino*

Ítem	Descripción	Und	Peso
1	1 era muestra (peso del agregado f + peso del molde)	kg	9,446
2	2 da muestra (peso del agregado f. + peso del molde)	kg	9,550
3	3 era muestra (peso a del agregado f. + peso del molde)	kg	9,620
Total:			28,616
<b>Peso promedio (PP):</b>			<b>9,539</b>

Nota: En la tabla se detalla el registro de los pesos (peso del agregado fino + peso del molde), los cuales fueron tres veces, así como el total y peso promedio

- Equipos y herramientas: Molde, varilla, balanza, cucharón.
- Procedimiento: Se registró el peso del molde vacío, se incorporó agregado fino en tres capas, se apisonó veinticinco veces en cada capa, una vez lleno se enrazó con la ayuda de la varilla y se registró el peso (peso del agregado fino + peso del molde); el cálculo de peso unitario compactado se efectuó a través de la ecuación 16:

Donde:

P = Peso de molde (5,235 kg)

V = Volumen de molde (0,002830 m<sup>3</sup>)

Por tanto,  $PUC = 1\,520,85 \text{ kg/m}^3$



## 4.1.5 Módulo de fineza de los agregados

### 4.1.5.1 Agregado grueso

Para obtener el módulo de fineza del agregado grueso, se utilizó los porcentajes retenidos acumulados de la tabla 29 del análisis granulométrico de dicho agregado, en la tabla 37 se detalla:

**Tabla 37**

*Porcentajes retenidos acumulados del agregado grueso*

Tamices ASTM		% Retenido acumulado
pulg.	mm	
6"	152,400	0,00
3"	76,200	0,00
1 1/2"	38,100	0,00
3/4"	19,050	<b>12,94</b>
3/8"	9,525	<b>96,63</b>
N° 4	4,760	<b>100,00</b>
N° 8	2,380	100,00
N° 16	1,190	100,00
N° 30	0,590	100,00
N° 50	0,300	100,00
N° 100	0,149	100,00

Nota: En la tabla se muestra las aberturas (pulg., mm) y los porcentajes retenidos del agregado grueso, con los cuales se efectuó el cálculo del módulo de fineza, según la NTP 400,012

El cálculo del módulo de fineza del agregado grueso, se efectuó a través de la ecuación 17, la cual se detalla:

$$MF = \frac{\sum \%RA[N^{\circ}100+N^{\circ}50+N^{\circ}30+N^{\circ}16+N^{\circ}8+N^{\circ}4+3/8"+3/4"+11/2"+3"+6"]}{100} \quad [\text{Ecuación 17}]$$

Donde:

MF = Módulo de fineza

$\sum \%RA$  = Sumatoria del porcentaje retenido acumulado

Por tanto, MF = 7,10

#### 4.1.5.2 Agregado fino

Para obtener el módulo de fineza del agregado fino, se utilizó los porcentajes retenidos acumulados de la tabla 30 del análisis granulométrico de dicho agregado, en la tabla 38 se detalla:

**Tabla 38**

*Porcentajes retenidos acumulados del agregado fino*

Tamices ASTM		% Retenido acumulado
pulg.	mm	
6"	152,400	0,00
3"	76,200	0,00
1 1/2"	38,100	0,00
3/4"	19,050	0,00
3/8"	9,525	0,00
N° 4	4,760	<b>3,60</b>
N° 8	2,380	<b>10,47</b>
N° 16	1,190	<b>21,40</b>
N° 30	0,590	<b>40,87</b>
N° 50	0,300	<b>70,53</b>
N° 100	0,149	<b>88,43</b>

Nota: En la tabla se muestra las aberturas (pulg., mm) y los porcentajes retenidos del agregado fino, con los cuales se efectuó el cálculo del módulo de fineza, según la NTP 400,012

El cálculo del módulo de fineza del agregado fino, se efectuó a través de la ecuación 17.

Por tanto,  $MF = 2,35$

#### 4.1.6 Contenido de humedad total

##### 4.1.6.1 Agregado grueso

- Muestra: Tamaño máximo 3/4", se preveo no se altere la muestra, es decir se separó y protegió, para que sea representativa, el registro de los pesos se detalla en la tabla 39:

**Tabla 39***Peso original y seco del agregado grueso*

Ítem	Descripción	Und	Peso
1	Muestra original del agregado grueso (W)	g	3 000,000
2	Muestra seca del agregado grueso (D)	g	2 995,806

Nota: En la tabla se aprecia los pesos de la muestra original (extraída de campo) y seca (secada en horno) del agregado grueso

Para determinar la cantidad o tamaño de la muestra se consideró lo estipulado en la NTP 339,185; lo cual se detalla en la tabla 40:

**Tabla 40***Masa mínima de la muestra de agregado grueso*

Tamaño máximo nominal de agregado mm (pulg)	Masa mínima de la muestra de agregado de peso normal en kg
4,75 (0,187) (N° 4)	0,5
9,5 (3/8)	1,5
12,5 (1/2)	2,0
19,0 (3/4)	3,0
25,0 (1)	4,0
37,5 (1 1/2)	6,0
50,0 (2)	8,0
63,0 (2 1/2)	10,0
75,0 (3)	13,0
90,0 (3 1/2)	16,0
100,0 (4)	25,0
150,0 (6)	50,0

Fuente: Comité técnico de normalización, 2002

- Equipo y herramientas: Balanza, horno, recipiente metálico, espátula.
- Procedimiento: Se registró el peso de la muestra del agregado grueso, el cual se puso a secar en el horno a 110° C, hasta alcanzar peso constante, luego se puso a enfriar, seguidamente se registró el peso seco, con ello se procedió a calcular el contenido de humedad total, lo cual se efectuó con la ecuación 18:

$$P = \frac{(W-D)}{D} 100 \quad [\text{Ecuación 18}]$$

Donde:

P = Contenido total de humedad evaporable de la muestra (%)

W = Masa de la muestra húmeda original (g)

D = Masa de la muestra seca (g)

Por tanto,  $P = 0,14 \%$

#### 4.1.6.2 Agregado fino

- Muestra: Tamaño máximo N° 4, se preveo no se altere la muestra, es decir se separó y protegió, para que sea representativa, el registro de los pesos se detalla en la tabla 41:

**Tabla 41**

*Peso original y seco del agregado fino*

Ítem	Descripción	Und	Peso
1	Muestra original del agregado fino (W)	g	500,000
2	Muestra seca del agregado fino (D)	g	496,376

Nota: En la tabla se aprecia los pesos de la muestra original (extraída de campo) y seca (secada en horno) del agregado fino

Asimismo, cabe mencionar que la cantidad o tamaño de la muestra se determinó según lo estipulado en la NTP 339,185; lo cual se detalla en la tabla 40.

- Equipo y herramientas: Balanza, horno, recipiente metálico, espátula.
- Procedimiento: Se registró el peso de la muestra del agregado fino, el cual se puso a secar en el horno a 110° C, hasta alcanzar peso constante, luego se puso a enfriar, seguidamente se registró el peso seco, con ello se procedió a calcular el contenido de humedad total, lo cual se efectuó con la ecuación 18.

Por tanto,  $P = 0,73 \%$

## 4.1.7 Abrasión en máquina los ángeles

### 4.1.7.1 Agregado grueso

- Muestra: Peso inicial = 5 005 g, lo cual se determinó considerando lo indicado en la tabla 42, la cual se detalla:

**Tabla 42**

*Gradación de las muestras de ensayo*

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de tamaño indicado (g)			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2" pulg)	25,0 mm (1" pulg)	1 250±			
25,0 mm (1" pulg)	19,0 mm (3/4" pulg)	1 250±			
19,0 mm (3/4" pulg)	12,5 mm (1/2" pulg)	1 250±	2 500±		
12,5 mm (1/2" pulg)	9,5 mm (3/8" pulg)	1 250±	2 500±		
9,5 mm (3/8" pulg)	6,3 mm (1/4" pulg)			2 500±	
6,3 mm (1/4" pulg)	4,75 mm (N° 4)			2 500±	
4,75 mm (N° 4)	2,36 mm (N° 8)				5 000±
Total		5 000±10	5 000±10	5 000±10	5 000±10

Fuente: Comité técnico de normalización, 2002

Nota: En la tabla se aprecia la gradación del agregado, el cual se encuentra gradado en A, B, C y D, asimismo se indica el total del peso a considerar

Cabe mencionar que la presente investigación opto por la gradación A, por lo tanto, el número de esferas se determinó con la tabla 43:

**Tabla 43**

*Número de esferas por gradación*

Gradación	Número de esferas	Peso de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2 500 ± 15

Fuente: Comité técnico de normalización, 2002

- Equipo y herramientas: Máquina de los ángeles, horno, tamices 1 1/2", 1", 3/4", 1/2" y 3/8", balanza, carga (esferas), charola, cucharón, brocha, espátula.
- Procedimiento: Una vez secado la muestra se determinó el peso inicial de la muestra, según la gradación A, en este caso fue 5 005 g; se incorporó las doce esferas (c/u tuvo: peso = 400 g; diámetro = 47 mm) y el agregado grueso en la máquina los ángeles, se aseguró adecuadamente y se efectuó el ensayo a una velocidad aproximada de 30 RPM (total 500 vueltas) 15 min. aproximadamente, luego se separó dicho agregado de las esferas y se tamizó en el N° 12, el retenido se registró como peso final = 4 004 g; el cálculo del porcentaje de desgaste se efectuó a través de la ecuación N° 19 :

$$\%D = \frac{(PI-PF)}{PI} 100 \quad [\text{Ecuación 19}]$$

Donde:

%D = Porcentaje de desgaste del agregado grueso (%)

PI = Peso inicial (kg)

PF = Peso final (kg)

Por tanto, %D = 20,00 %

## 4.2 Resultados de los ensayos de laboratorio

En la tabla 44 y 45 se muestran las propiedades físicas de los agregados grueso y fino, obtenidos en los ensayos de laboratorio:

**Tabla 44**

*Propiedades físicas del agregado grueso*

<b>Ensayo</b>	<b>Und</b>	<b>Resultado</b>	<b>Norma de ensayo</b>
Peso específico de masa	kg/m <sup>3</sup>	2 810,00	NTP 400,021
PEM superficie saturada seca	kg/m <sup>3</sup>	2 823,41	NTP 400,021
Peso específico aparente	kg/m <sup>3</sup>	2 848,19	NTP 400,021
Peso unitario suelto	kg/m <sup>3</sup>	1 435,00	NTP 400,017
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1 590,00	NTP 400,017
Módulo de fineza	-	7,10	NTP 400,012
Absorción	%	0,48	NTP 400,021
Humedad total	%	0,14	NTP 339,185
Abrasión en máquina los ángeles	%	20,00	NTP 400,019

Nota: Se muestra las propiedades físicas del agregado grueso, los cuales se obtuvieron a través de los ensayos de laboratorio

**Tabla 45**

*Propiedades físicas del agregado fino*

<b>Ensayo</b>	<b>Und</b>	<b>Resultado</b>	<b>Norma de ensayo</b>
Peso específico de masa	kg/m <sup>3</sup>	2 550,00	NTP 400,022
PEM superficie saturada seca	kg/m <sup>3</sup>	2 602,30	NTP 400,022
Peso específico aparente	kg/m <sup>3</sup>	2 690,74	NTP 400,022
Peso unitario suelto	kg/m <sup>3</sup>	1 430,00	NTP 400,017
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>	1 521,00	NTP 400,017
Módulo de fineza	-	2,35	NTP 400,012
Absorción	%	2,05	NTP 400,022
Humedad total	%	0,73	NTP 339,185

Nota: Se muestra las propiedades físicas del agregado fino, los cuales se obtuvieron a través de los ensayos de laboratorio

### 4.3 Diseño de mezclas

El diseño de mezclas se efectuó con el método ACI 211, para lo cual se empleó valores establecidos en las figuras B 1, B 2, B 3, B 4, B 5, B 6, B 7, B 8 y B 9; asimismo, se emplearon las propiedades físicas de los materiales detallados en la tabla 46:

**Tabla 46**

*Propiedades físicas de los agregados grueso y fino*

<b>Materiales</b>	<b>Resultado</b>	<b>Und</b>
A) Cemento		
Cemento portland – Yura tipo IP		
Peso específico	3 150,00	kg/m <sup>3</sup>
agua	1 000,00	kg/m <sup>3</sup>
B) Agregado grueso		
Gravedad específica de masa	2 810,00	kg/m <sup>3</sup>
GEM superficie saturada seca	2 823,41	kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica aparente	2 848,19	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1 435,00	kg/m <sup>3</sup>
peso unitario compactado	1 590,00	kg/m <sup>3</sup>
Módulo de fineza	7,10	-
Absorción	0,48	%
Humedad total	0,14	%
Abrasión en máquina los ángeles	20,00	%
C) Agregado fino		
Gravedad específica de masa	2 550,00	kg/m <sup>3</sup>
GEM superficie saturada seca	2 602,30	kg/m <sup>3</sup>
Gravedad específica aparente	2 690,74	kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario suelto	1 430,00	kg/m <sup>3</sup>
peso unitario compactado	1 521,00	kg/m <sup>3</sup>
Módulo de fineza	2,35	-
Absorción	2,05	%
Humedad total	0,73	%



### 4.3.1 Diseño de mezclas $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$

El diseño se detalla en la tabla 47:

Consideraciones:

- Resistencia:  $175 \text{ kg/cm}^2$
- Asentamiento (slump): 3" – 4"
- Tamaño máximo nominal: 3/4"
- Agua:  $205 \text{ kg/m}^3$  (ver figura B 1)
- Aire atrapado 2 % (ver figura B 2)
- Relación agua/cemento (A/C): 0,66 (ver figura B 5)
- Agregado grueso:  $0,66 \text{ m}^3$  (ver figura B 4)

**Tabla 47**

*Diseño de mezclas  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$*

<b>Volúmenes absolutos de materiales</b>		
Materiales	Peso (kg)	Volumen ( $\text{m}^3$ )
Agua	205,00	0,21
Cemento	313,00	0,10
Aire		0,02
Agregado grueso	1 049,40	0,37
agregado fino	770,57	0,30

<b>Corrección por humedad</b>		
Materiales	Peso (kg)	Volumen ( $\text{m}^3$ )
Agua	218,74	0,22
Cemento	313,00	0,21
Agregado grueso	1 050,87	0,73
Agregado fino	776,19	0,54

<b>Dosificación de materiales</b>				
Dosificación	Cemento	Agregado grueso	Agregado fino	Agua
En peso	1	3,36	2,48	0,70
En volumen	1	3,51	2,60	1,05
Tanda x bolsa de cemento	42,5	142,69	105,39	29,70

Nota: En la tabla se muestra el procedimiento de diseño de mezclas  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ , cabe mencionar que dicho procedimiento fue en base al método del ACI 211

Por tanto, el factor cemento:  $7,36 \text{ bl/m}^3$

### 4.3.2 Diseño de mezclas $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

El diseño se detalla en la tabla 48:

Consideraciones:

- Resistencia:  $210 \text{ kg/cm}^2$
- Asentamiento (slump): 3" – 4"
- Tamaño máximo nominal: 3/4"
- Agua:  $205 \text{ kg/m}^3$  (ver figura B 1)
- Aire atrapado 2 % (ver figura B 2)
- Relación agua/cemento (A/C): 0,59 (ver figura B 5)
- Agregado grueso:  $0,66 \text{ m}^3$  (ver figura B 4)

**Tabla 48**

*Diseño de mezclas  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$*

<b>Volúmenes absolutos de materiales</b>		
Materiales	Peso (kg)	Volumen ( $\text{m}^3$ )
Agua	205,00	0,21
Cemento	349,00	0,11
Aire		0,02
Agregado grueso	1 049,40	0,37
Agregado fino	741,42	0,29

<b>Corrección por humedad</b>		
Materiales	Peso (kg)	Volumen ( $\text{m}^3$ )
Agua	218,35	0,22
Cemento	349,00	0,23
Agregado grueso	1 050,87	0,73
Agregado fino	746,84	0,52

<b>Dosificación de materiales</b>				
Dosificación	Cemento	Agregado grueso	Agregado fino	Agua
En peso	1	3,01	2,14	0,63
En volumen	1	3,15	2,24	0,94
Tanda x bolsa de cemento	42,5	127,97	90,95	26,59

Nota: En la tabla se muestra el procedimiento de diseño de mezclas  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , cabe mencionar que dicho procedimiento fue en base al método del ACI 211

Por tanto, el factor cemento:  $8,21 \text{ bl/m}^3$

### 4.3.3 Cálculo de aditivo en porcentajes

Los resultados mostrados en la tabla 49, 50 y 51; se determinaron a través de la ecuación 20:

$$AR = \frac{\%A \times P}{D} \quad [\text{Ecuación 20}]$$

Donde:

AR = Aditivo requerido (lt)

%A = Porcentaje de aditivo (%)

P = Peso del cemento (kg)

D = Densidad del aditivo (kg/lt)

**Tabla 49**

*Porcentaje de aditivo impermeabilizante Z 1 líquido requerido – f'c = 175 kg/cm<sup>2</sup> y f'c = 210 kg/cm<sup>2</sup>*

<b>Z 1 líquido – f'c = 175 y 210 kg/cm<sup>2</sup></b>			
<b>Cemento (kg)</b>	<b>Densidad (kg/lt)</b>	<b>Aditivo (%)</b>	<b>Aditivo requerido (lt)</b>
42,5	0,98	0,5 %	0,217
		1,0 %	0,434
		1,5 %	0,651
		2,0 %	0,867
		2,5 %	1,084
		3,0 %	1,301
		3,5 %	1,518
		4,0 %	1,735
		4,5 %	1,952
		5,0 %	2,168

Nota: En la tabla se aprecia el aditivo impermeabilizante Z 1 líquido en litros requerido, según porcentaje (0,5 % a 5,0 % del peso del cemento)

**Tabla 50**

Porcentaje de aditivo impermeabilizante Chema 1 líquido requerido –  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

<b>Chema 1 líquido – <math>f'c = 175</math> y <math>210 \text{ kg/cm}^2</math></b>			
<b>Cemento (kg)</b>	<b>Densidad (kg/lt)</b>	<b>Aditivo (%)</b>	<b>Aditivo requerido (lt)</b>
42,5	0,99	0,5 %	0,215
		1,0 %	0,429
		1,5 %	0,644
		2,0 %	0,859
		2,5 %	1,073
		3,0 %	1,288
		3,5 %	1,503
		4,0 %	1,717
		4,5 %	1,932
		5,0 %	2,146

Nota: En la tabla se aprecia el aditivo impermeabilizante Chema 1 líquido en litros requerido, según porcentaje (0,5 % a 5,0 % del peso del cemento)

**Tabla 51**

Porcentaje de aditivo impermeabilizante Sika 1 líquido requerido –  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

<b>Sika 1 líquido – <math>f'c = 175</math> y <math>210 \text{ kg/cm}^2</math></b>			
<b>Cemento (kg)</b>	<b>Densidad (kg/lt)</b>	<b>Aditivo (%)</b>	<b>Aditivo requerido (lt)</b>
42,5	0,95	0,5 %	0,224
		1,0 %	0,447
		1,5 %	0,671
		2,0 %	0,895
		2,5 %	1,118
		3,0 %	1,342
		3,5 %	1,566
		4,0 %	1,789
		4,5 %	2,013
		5,0 %	2,237

Nota: En la tabla se aprecia el aditivo impermeabilizante Sika 1 líquido en litros, requerido según porcentaje (0,5 % a 5,0 % del peso del cemento)

#### **4.4 Obtención y curado de los testigos de concreto**

Se efectuó la obtención de sesenta y seis testigos de concreto, los cuales se aprecian en las fotografías C 14 al C 39, asimismo en la tabla A 4 se detalla el orden de dicha obtención, cuyas medidas se determinaron según lo estipulado en

la norma NCh2262, donde menciona que el  $D \geq 0,15$  m y la  $H \geq 0,10$  m, por tanto, la presente investigación consideró dichas medidas. Cabe mencionar que, en la elaboración y curado de los testigos de concreto, se consideró el procedimiento descrito en la NTP 339,183.

#### 4.5 Obtención, curado y cálculo de porosidad

Se efectuó la obtención de ocho testigos de concreto ( $D= 0,15$  m;  $H= 0,05$  m), a fin de hallar la porosidad del concreto utilizado en la investigación, los cuales se aprecian en las fotografías C 40 al C 51, para lo cual se consideró el procedimiento estipulado en la norma ASTM C 642, donde indica, que el volumen sea mayor a  $350 \text{ cm}^3$  y masa mayor a 800 g, asimismo se preveo que esté libre de hendiduras, fisuras o extremos quebradizos o puntiagudos. Cabe mencionar que, en la elaboración y curado de los testigos de concreto, se consideró el procedimiento descrito en la NTP 339,183; en la tabla 52 y 53, se detalla la obtención de testigos de concreto:

**Tabla 52**

*Obtención de testigos para cálculo de porosidad –  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$*

<b><math>f'c = 175 \text{ kg/cm}^2</math></b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Testigos de concreto</b>	<b>% Utilizado</b>
1	Z 1 líquido	1	2,5%
2	Sin aditivo	1	-
3	Chema 1 líquido	1	2,5%
4	Sika 1 líquido	1	2,5%

Nota: En la tabla se aprecia el porcentaje de aditivo utilizado en los testigos de concreto  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$

**Tabla 53***Obtención de testigos para cálculo de porosidad –  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$* 

<b><math>f'c = 210 \text{ kg/cm}^2</math></b>			
<b>Ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Testigos de concreto</b>	<b>% Utilizado</b>
1	Z 1 líquido	1	2,5%
2	Sin aditivo	1	-
3	Chema 1 líquido	1	2,5%
4	Sika 1 líquido	1	2,5%

Nota: En la tabla se aprecia el porcentaje de aditivo utilizado en los testigos de concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

A continuación, se describe el procedimiento del ensayo con el cual se halló la porosidad del concreto endurecido (porcentaje de vacíos):

- Muestra: Se adoptó una forma cilíndrica  $D = 0,15 \text{ m}$  y  $H = 0,05 \text{ m}$ , tal como se aprecia en las fotografías C 43 y C 44.
- Equipos: horno, pinzas, espátula, recipiente PVC, recipiente metálico (olla aluminio), estufa y balanza.
- Procedimiento: El testigo de concreto fue secado en el horno, a fin de que dicho testigo este seco totalmente y se registró el peso seco al horno. Después se sumergió en agua a  $21^\circ \text{ C}$  en un tiempo menor que 48 h, se secó superficialmente y se registró el peso en intervalos de 24 h, de manera tal que la variación sea mínima y se registró el peso saturado después de inmersión. Después se colocó el testigo en un recipiente con agua y se sometió a ebullición por 6 h, se enfrió a temperatura ambiente, se secó la superficie y se registró el peso saturado después de ebullición. Seguidamente se colocó agua en un recipiente y se registró el peso (recipiente + agua), se sumergió el testigo en dicho recipiente de forma suspendida y se registra el peso aparente del testigo en agua.

Una vez efectuado el ensayo y registro de pesos de los testigos de concreto, se calculó la porosidad del concreto utilizando la ecuación 21, asimismo se presenta los resultados en las tablas 54 y 55:

$$V = \frac{(C-A)}{(C-D)} 100 \quad [\text{Ecuación 21}]$$

Donde:

V = Volumen de vacíos o espacio de poros permeables (%)

A = Peso seco al horno (g)

B = Peso saturado después de la inmersión (g)

C = Peso saturado después de la ebullición (g)

D = Peso aparente sumergido (g)

**Tabla 54**

*Porosidad del concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$*

Ítem	Descripción	Und	$f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$				V (%)
			A	B	C	D	
1	Z 1 líquido	g	2 046	2 144	2 147	938	0,084
2	Sin aditivo	g	1 993	2 114	2 119	906	0,104
3	Chema 1 líquido	g	2 050	2 142	2 151	928	0,083
4	Sika 1 líquido	g	2 042	2 141	2 150	930	0,089

Nota: En la tabla se muestran los resultados del cálculo del porcentaje de porosidad del concreto: Z 1 líquido, sin aditivo, Chema 1 líquido y Sika 1 líquido

**Tabla 55**

*Porosidad del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$*

Ítem	Descripción	Und	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$				V (%)
			A	B	C	D	
1	Z 1 líquido	g	2 058	2 152	2 154	942	0,079
2	Sin aditivo	g	2 000	2 113	2 116	914	0,097
3	Chema 1 líquido	g	2 061	2 149	2 156	937	0,078
4	Sika 1 líquido	g	2 053	2 149	2 155	939	0,084

Nota: En la tabla se muestran los resultados del cálculo del porcentaje de porosidad del concreto: Z 1 líquido, sin aditivo, Chema 1 líquido y Sika 1 líquido

## 4.6 Ensayos de permeabilidad de los testigos de concreto

### 4.6.1 Fabricación del equipo

Para la fabricación del equipo se consideró la norma española (UNE-EN 12390-8), donde señala que la forma del equipo será tal, que el testigo de concreto dimensionado, se situó adecuadamente y se aplique el agua en presión sobre él, asimismo se visualice constantemente dicha presión aplicada. La presente investigación utilizó los materiales detallados en la tabla 56 para acondicionar el equipo:

**Tabla 56**

*Relación de materiales, instrumentos y herramientas empleadas para fabricación de equipo*

Ítem	Descripción	Und	Cantidad	Observación
1	Soporte superior H°F° E=1"	und	3	Con rosca NTP 1/2"
2	Soporte inferior H°F° E=1/2"	und	3	
3	Perno 3/8"x6"	und	18	
4	Tuerca 3/8"	und	18	
5	Perno 1/2"x4"	und	12	
6	Tuerca 1/2"	und	12	
7	Tubería galvanizada D=5/8"	ml	1	Se utilizó para fijar sop. Inf. a mesa
8	Acople de acero 1/2"	und	3	Se utilizó entre sop. Sup. y chicote
9	Manguera a presión	und	4	Se acondicionó chicotes de lavatorio
10	Tubería PVC 1/2" C-7.5	und	1	
11	Neopreno E=1/4"	m2	0,5	Se utilizó caucho
12	Cinta teflón 1/2"	und	24	
13	Cinta teflón 3/4"	und	6	
14	Válvula 1/2"	und	6	Se acondicionó llaves de paso
15	Tee PVC 1/2"	und	8	
16	Codo 90° PVC 1/2"	und	1	
17	Manómetro	und	3	La capacidad fue de 150 Psi (lb/pulg <sup>2</sup> )
18	Acople de acero 1/2"	und	3	Manómetro con reducción a tee
19	Balde hidráulico	und	1	Se utilizó para general presión
20	Soporte general	und	1	Se acondicionó mueble
21	Pintura impermeabilizante	und	12	Se aplicó en exterior de testigos (c/u)
22	Herramientas de mano	glb	1	llaves, terraja, alicate a presión, etc.
23	Platina de acero	ml	1	E=1/4", para asegurar tuberías.
24	Escobilla de acero	und	2	Para desgaste de superficie a presión



Cabe mencionar que en la confección del soporte superior se efectuó un rebaje en forma cónica (D= 3”), a través del cual el agua ejercida en presión tuvo contacto con el testigo de concreto, por ello en las figuras 21, 22 y 23 se aprecia los detalles, asimismo en la figura 24 se aprecia la esquematización de los ensayos de permeabilidad.

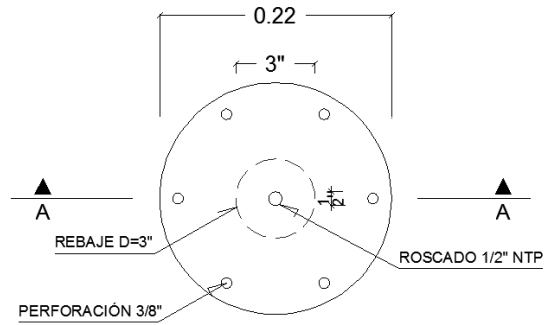


Figura 21. Planta del soporte superior

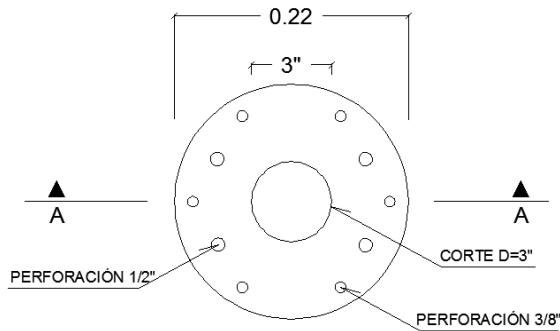


Figura 22. Planta del soporte inferior

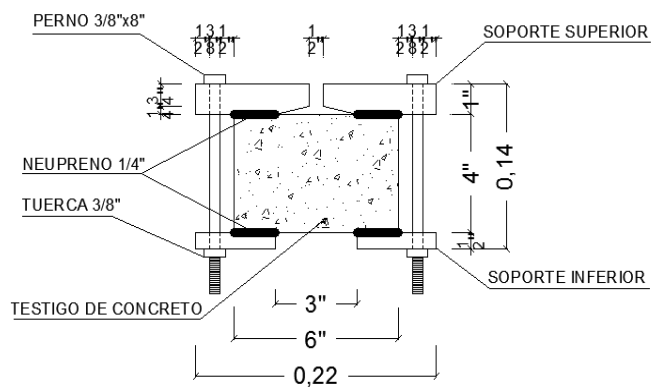


Figura 23. Corte A – A

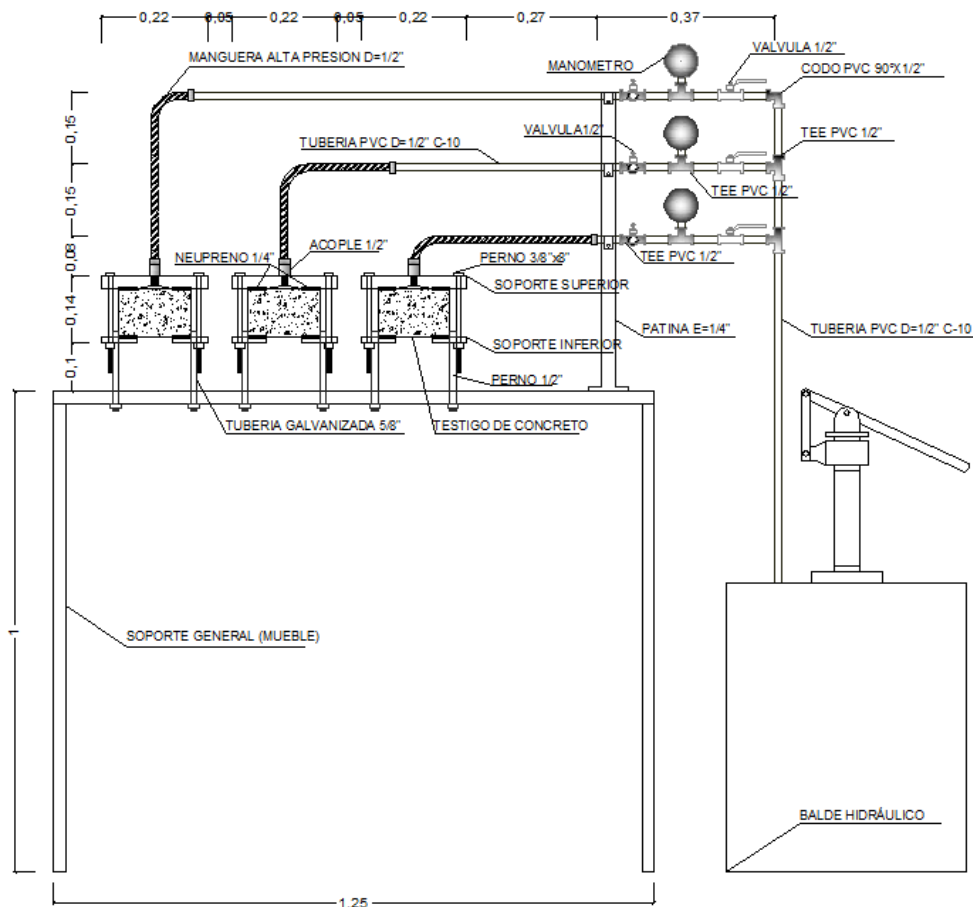


Figura 24. Esquematación del ensayo de permeabilidad

## 4.6.2 Ejecución de ensayos

### 4.6.2.1 Pre ensayo N° 01

Consistió en ejecutar el ensayo a 01 testigo de concreto (B), al cual se le aplicó agua en presión de 72,52 psi generado por el balde hidráulico, como se aprecia en la fotografía C 58. Cabe mencionar que a 30 min. de iniciado el ensayo, empezó a filtrar agua por la parte superior del testigo en cuya superficie se aplicó la presión, por ello se suspendió dicho ensayo, seguidamente se desmontó y adicionó un neopreno (01), se efectuó el montaje respectivo y se reanudó el ensayo.

Asimismo, a 1 h de iniciado el ensayo, se observó ligera humectación en el contorno superior y a las 12 h se observó eflorescencia de agua, lo cual se aprecia

en la fotografía C 60, por tanto, se dio por finalizado el ensayo y se efectuó el seccionado del testigo de concreto, tal como se aprecia en la fotografía C 62.

La ejecución del pre ensayo N° 01, fue con fines experimentales y mejorar las deficiencias presentadas. Asimismo, se comprobó la necesidad de impermeabilizar el contorno del testigo de concreto.

#### **4.6.2.2 Pre ensayo N° 02**

Consistió en ejecutar el ensayo a 03 testigos de concreto simultáneamente (A, B y C), en el cual, a cada testigo se aplicó agua en presión de 72,52 psi generado por el balde hidráulico, como se aprecia en la fotografía C 64. Cabe mencionar que se preveo lo suscitado en el pre ensayo N° 01, por tanto, en el montaje se adiciono 01 neopreno en la superficie en presión de cada testigo, tal como se aprecia en la fotografía C 65; no obstante, a los 30 min. de iniciado el ensayo empezó a filtrar agua en el acople 1/2" ubicado entre el soporte superior y la manguera a presión (chicote) (A), acople de manómetro (B), empalme entre tubería y manguera a presión (chicote) (C), por ello se suspendió dicho ensayo, se desmonto, colocó cinta teflón y ajustó los puntos de filtración, para luego reanudar el ensayo.

Asimismo, a 1,5 h de iniciado el ensayo, se observó ligera humectación en el contorno superior y a las 15 h se observó eflorescencia de agua, lo cual se aprecia en la fotografía C 66, por tanto, se dio por finalizado el ensayo y se efectuó el seccionado de los testigos de concreto, tal como se aprecia en la fotografía C 69.

La ejecución del pre ensayo N° 02, fue con la finalidad de verificar, que la adición de neopreno era suficiente, como se ha descrito líneas arriba, se presentaron otros inconvenientes, sin embargo, fueron solucionados; asimismo

una vez más se comprobó la necesidad de impermeabilizar el contorno del testigo de concreto.

#### ***4.6.2.3 Ensayos definitivos para investigación***

Se ejecutaron veintidós ensayos de permeabilidad y en cada ensayo se consideró tres testigos de concreto.

A los 13 días de curado los testigos de concreto, se efectuó el desgaste de la superficie que estuvo sometida a presión considerando lo indicado en NCh 2262, dicho desgaste consistió en el raspado de la superficie con una escobilla de acero, tal como se aprecia en la fotografía C 35, una vez concluida la operación los testigos se volvieron a sumergir en agua, para cumplir los veintiocho días de curado.

A los veintiocho días de curado se procedió a retirar los testigos de concreto del agua, a temperatura ambiente (aprox. 23° C) para que sequen, tal como se aprecia en la fotografía C 36. Cabe señalar que el registro de días de secado se indica en la tabla A 4. Posteriormente se procedió a sellar la superficie que no estuvo a sometida a presión, es decir el contorno del testigo de concreto con material mostrado en la fotografía C 70, asimismo el procedimiento de sellado se aprecia en la fotografía C 72.

Se procedió a efectuar los ensayos de permeabilidad, tal como se aprecia en las fotografías C 70 al C 99, lo cual consistió en ubicar los testigos de concreto en el equipo y efectuar los ajustes requeridos, así como la aplicación de agua en presión de 72,52 psi generada por el balde hidráulico, dichos ensayos se registraron en la tabla A 5; todo ello considerando la UNE-EN 12390-8.

Asimismo, una vez concluido los tres días de ensayo (72 h), se procedió al seccionado de los testigos, a través del cual se obtuvo la profundidad de penetración, cabe señalar que el registro de dichas profundidades se detalla en la tabla A 6.

Una vez concluido los ensayos de permeabilidad, se procedió al cálculo del coeficiente de permeabilidad (K) del concreto, para lo cual se utilizó la ecuación 2, cabe señalar que dichos coeficientes se detallan en la tabla A 7.

Finalmente se efectuó la clasificación de los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto considerando la NTC 4483, lo cual se detalla en la tabla A 8.

## **CAPÍTULO V**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **5.1 Presentación de resultados**

La presente investigación obtuvo resultados, los cuales se clasificaron en profundidad de penetración y coeficiente de permeabilidad (K), mismos que describen líneas más abajo:

##### **5.1.1 Profundidad de penetración**

Las profundidades de penetración alcanzada en los testigos de concreto, por la acción del agua en presión, fue registrada en la tabla A 6, mismas que fueron clasificadas según la norma NTC 4483.

##### **5.1.2 Coeficiente de permeabilidad**

La investigación obtuvo los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto, a través de la ecuación 2, los cuales se clasificaron según la norma NTC 4483, dichos coeficientes se detallan en la tabla A 8.

## 5.2 Contratación de hipótesis

### 5.2.1 Hipótesis general

Para la contratación de la hipótesis general, se recurre a las figuras 25 y 26, en las cuales se detallan las profundidades de penetración alcanzadas por el agua en presión, de los testigos de concreto:

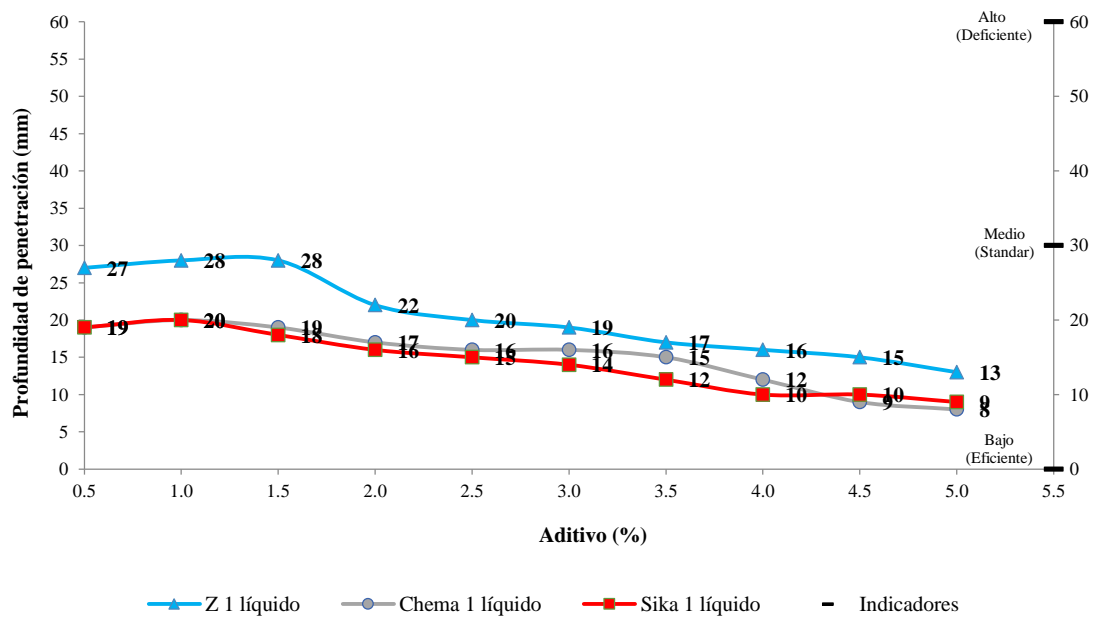


Figura 25. Comparación de profundidades de penetración  $f^c = 175 \text{ kg/cm}^2$

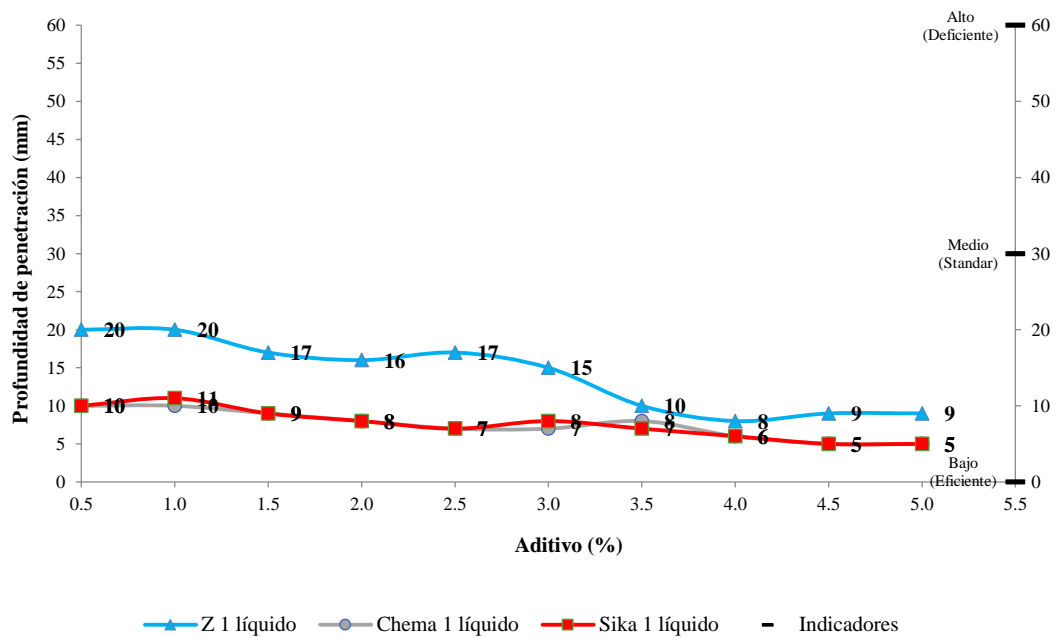


Figura 26. Comparación de profundidades de penetración  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$

Contrastación de hipótesis general: En las figuras 25 y 26 correspondientes a  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ , en las cuales se aplicó aditivos impermeabilizantes: Z 1 líquido, Chema 1 líquido y Sika 1 líquido, en porcentajes de 0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 %; 3,0 %; 3,5 %; 4,0 %; 4,5 % y 5,0 % del peso del cemento, se aprecia el decrecimiento de las curvas según el porcentaje de aditivo, encontrándose por el nivel bajo.



### 5.2.2 Hipótesis específicas

Para la contrastación de la hipótesis específica 01, se recurre a las figuras 27 al 34 en las cuales se detallan las profundidades de penetración registradas, en los testigos de concreto por cada aditivo:

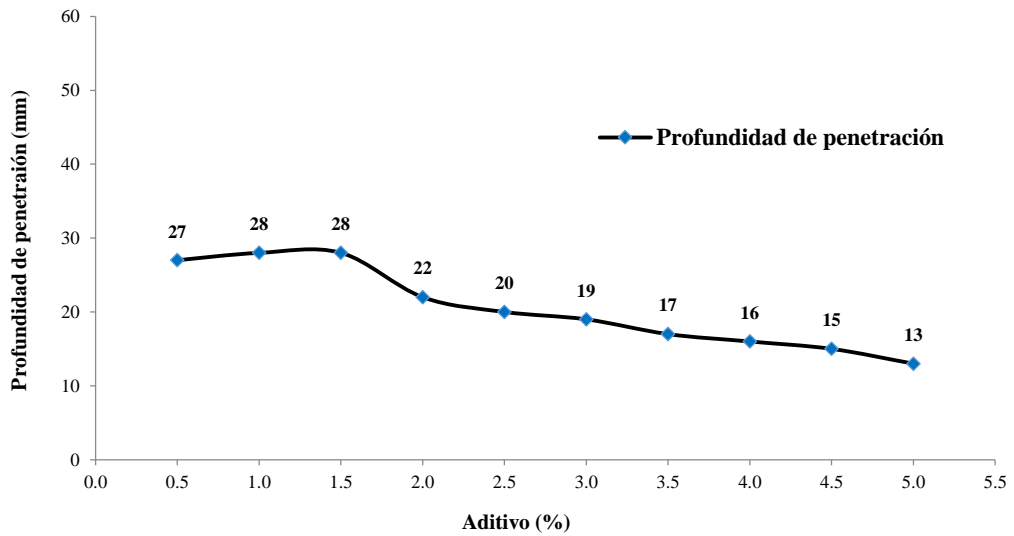


Figura 27. Profundidad de penetración en concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  con Z 1 líquido

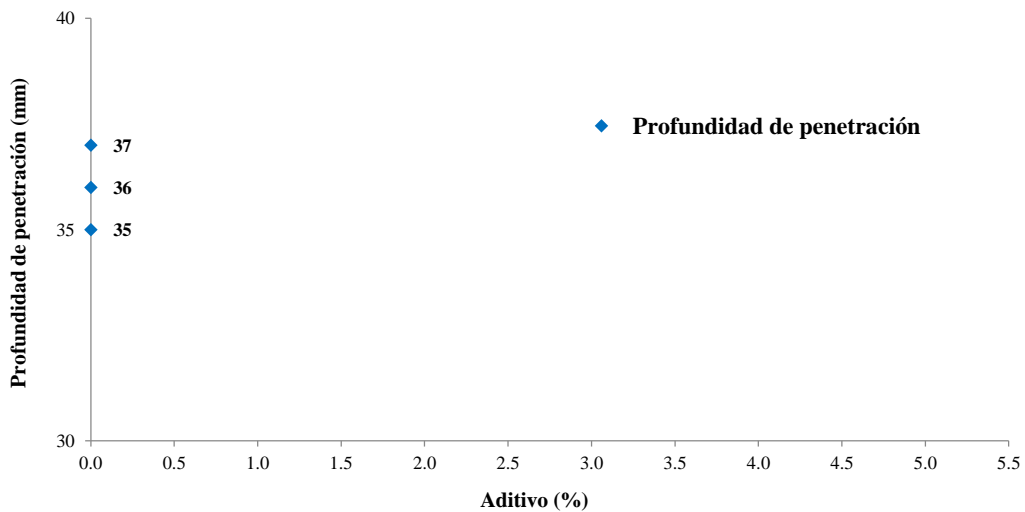


Figura 28. Profundidad de penetración en concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  sin aditivo

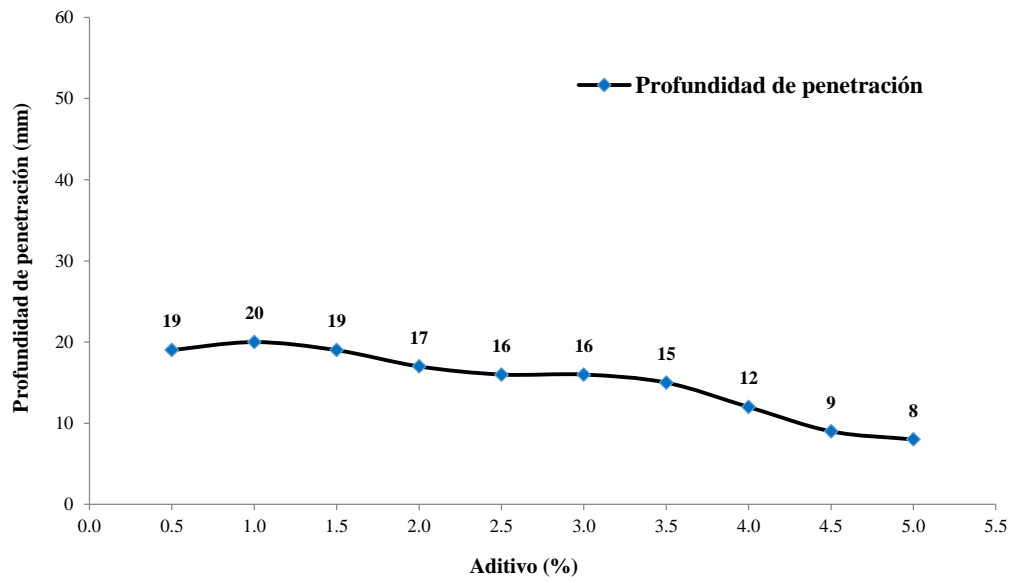


Figura 29. Profundidad de penetración en concreto  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  con Chema 1 líquido

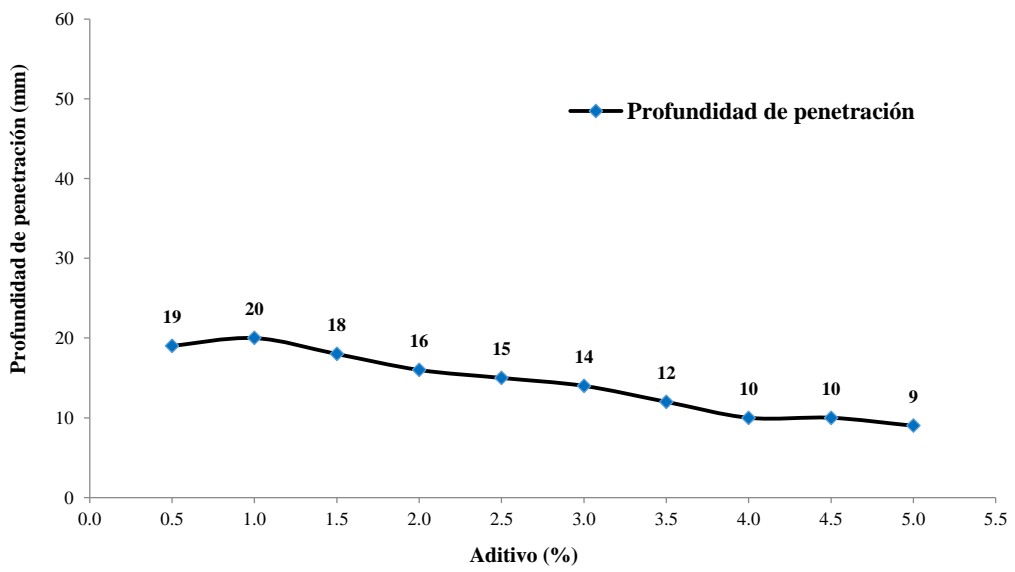


Figura 30. Profundidad de penetración en concreto  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$  con Sika 1 líquido

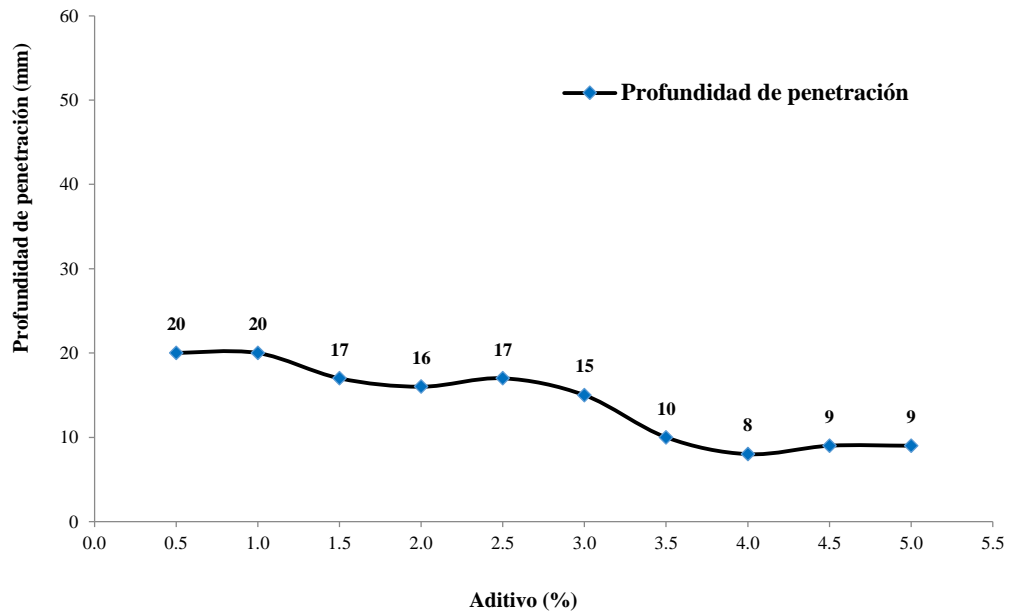


Figura 31. Profundidad de penetración en concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con Z 1 líquido

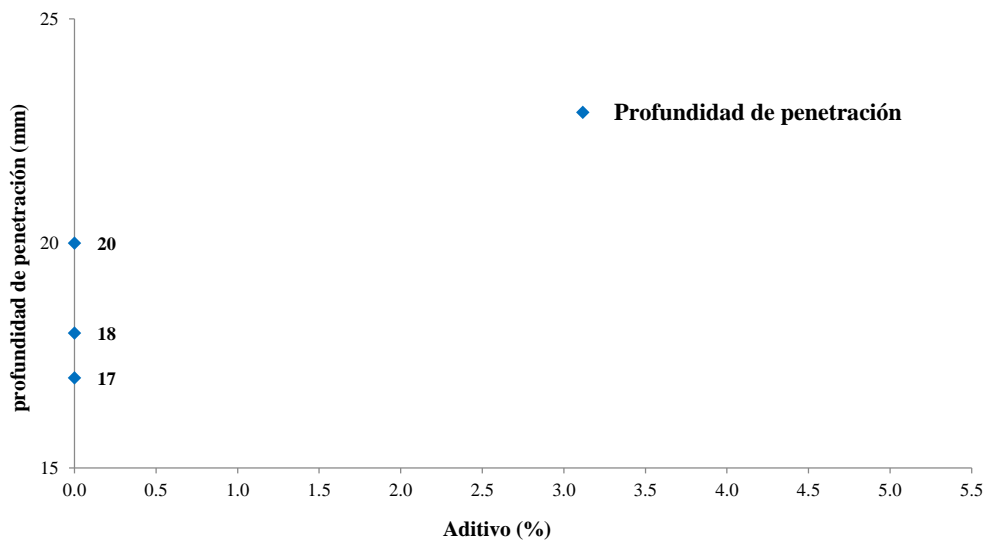


Figura 32. Profundidad de penetración en concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  sin aditivo

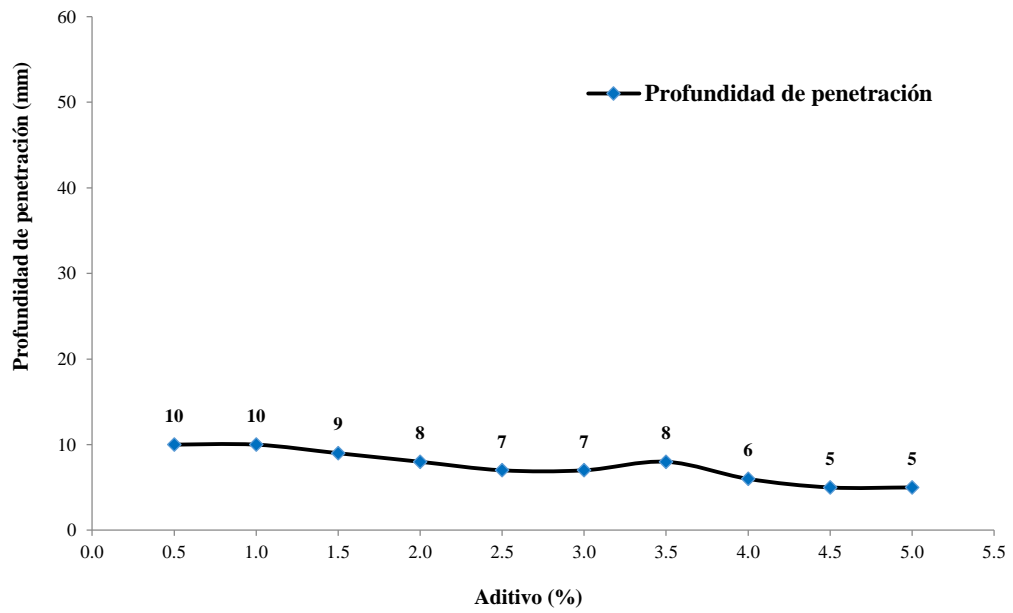


Figura 33. Profundidad de penetración en concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  con Chema 1 líquido

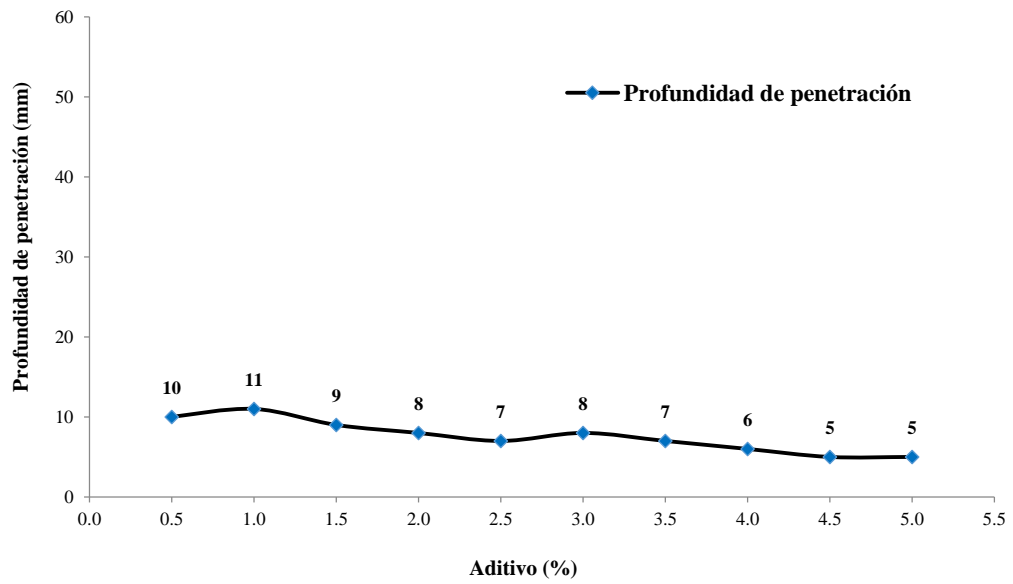


Figura 34. Profundidad de penetración en concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  con Sika 1 líquido

Contrastación de hipótesis específica 01: En las figuras 27 al 34 se detallan las profundidades penetradas en los testigos de concreto, por la acción del agua en presión, cuya aplicación de aditivos impermeabilizantes fue en el orden: Z 1 líquido, sin aditivo, Chema 1 líquido y Sika 1 líquido; según las figuras 27 al 30 de  $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ , las mayores profundidades registradas fueron 28 mm, 37 mm, 20 mm y 20 mm respectivamente; según las figuras 31 al 34 de  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ , las mayores profundidades registradas fueron 20 mm, 20 mm, 10 mm y 11 mm respectivamente.

Para la contrastación de la hipótesis específica 02, se recurre a las figuras 35 al 42, en las cuales se detallan los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto, de cada aditivo utilizado:

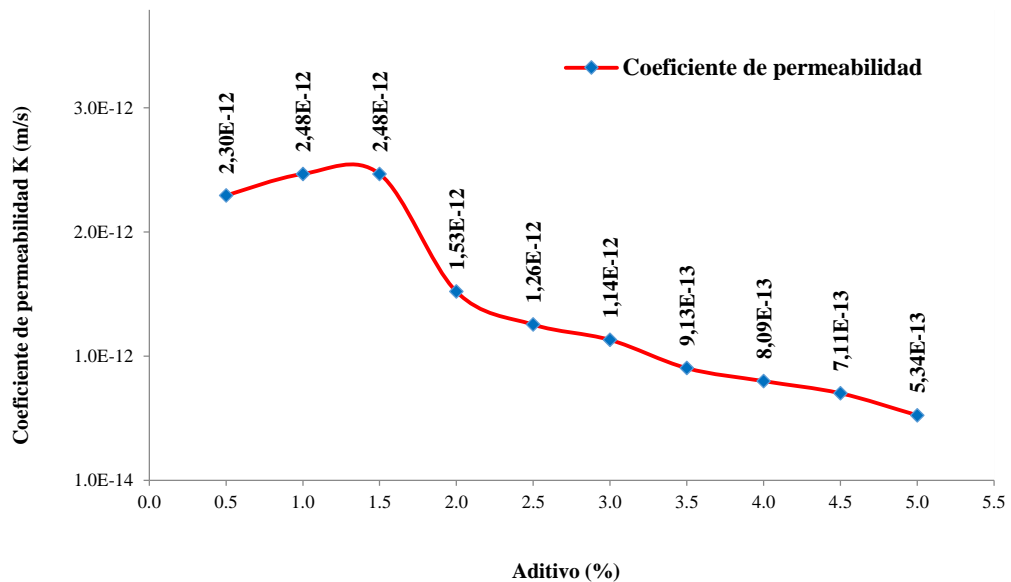


Figura 35. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$  con Z 1 líquido

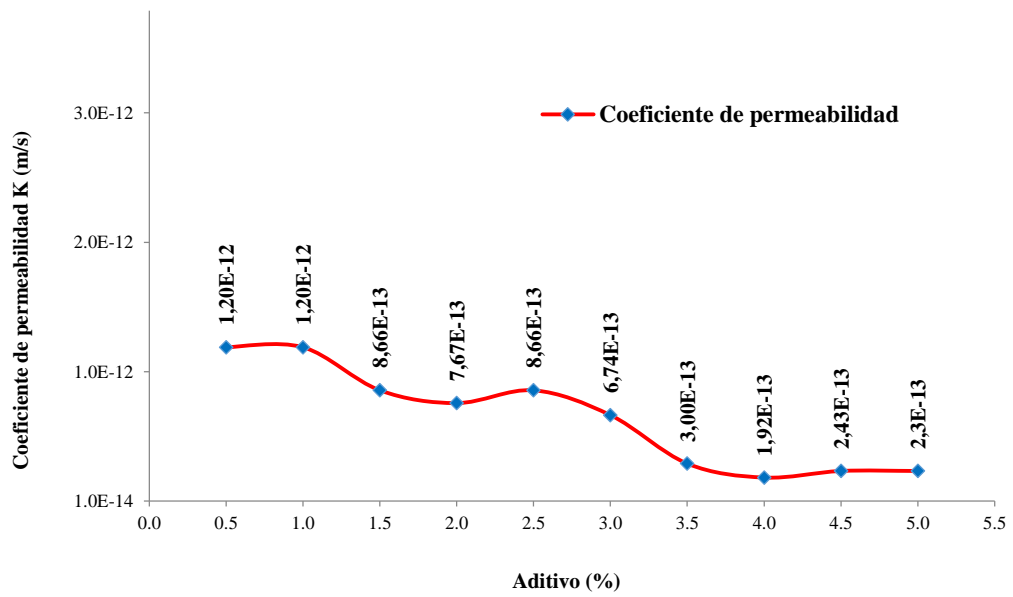


Figura 36. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  con Z 1 líquido

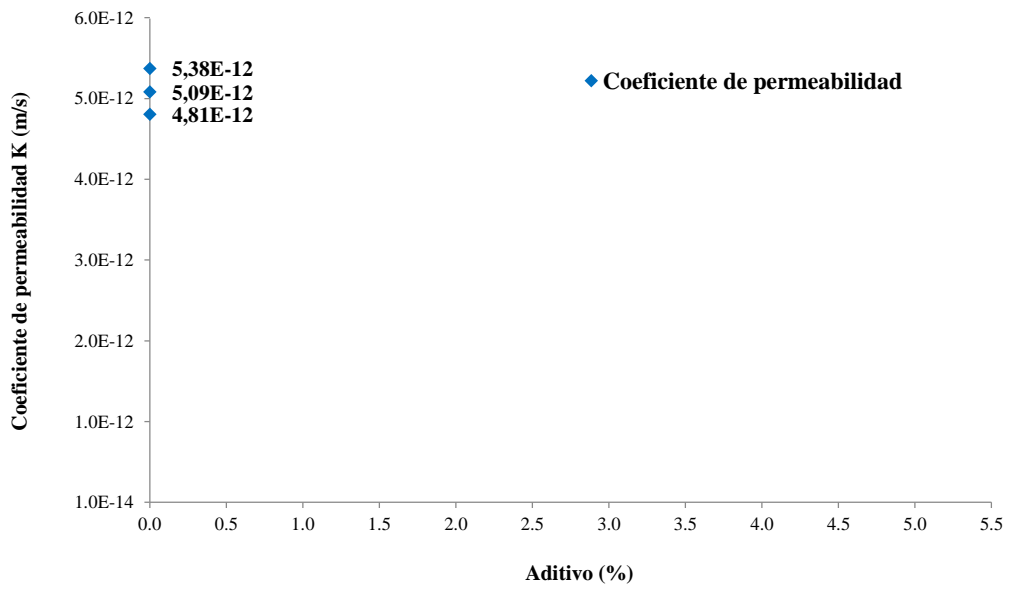


Figura 37. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto  $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$  sin aditivo

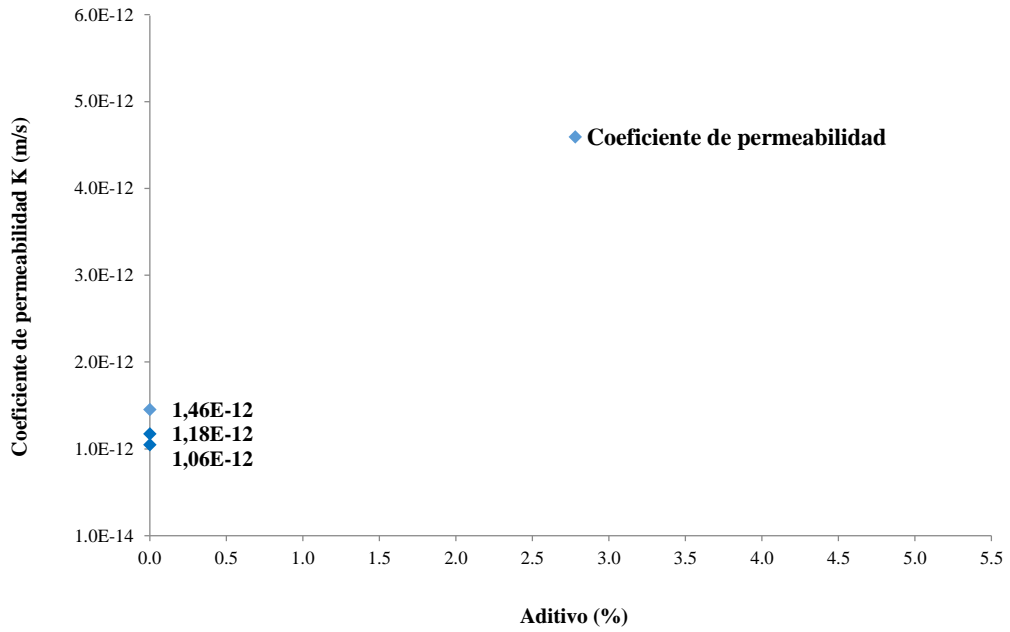


Figura 38. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  sin aditivo

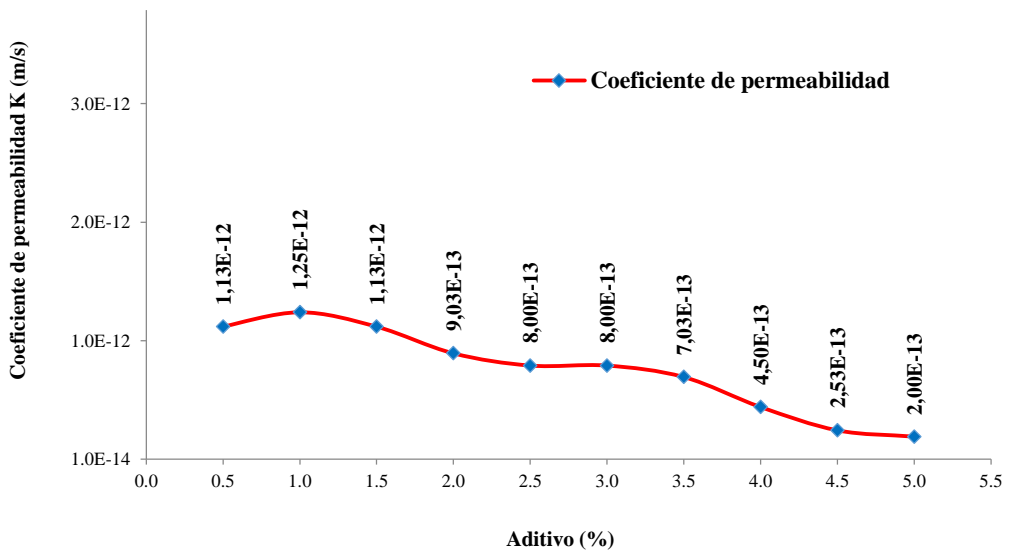


Figura 39. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto  $f'_c=175 \text{ kg/cm}^2$  con Chema 1 líquido

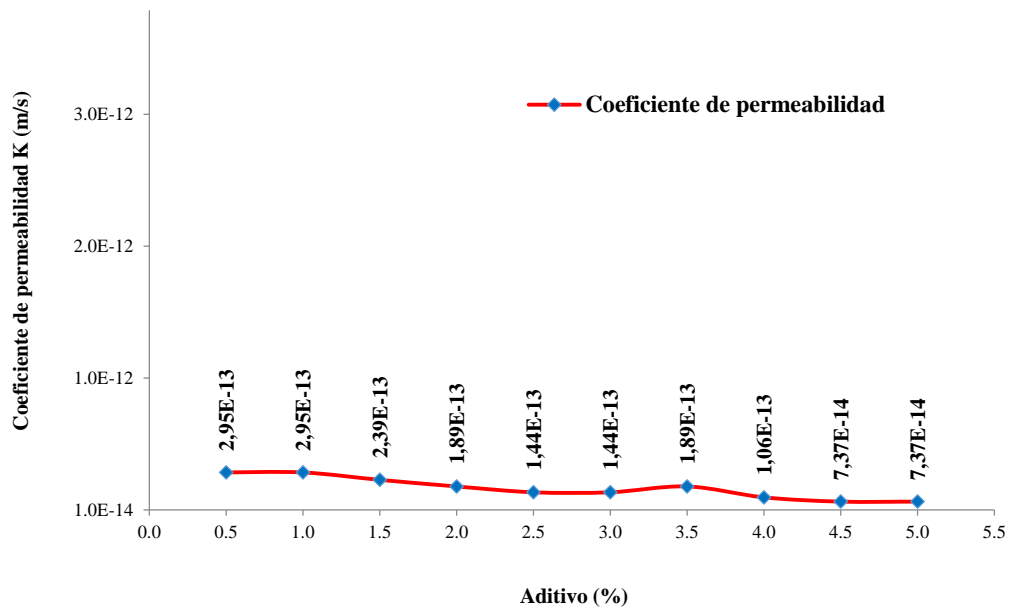


Figura 40. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  con Chema 1 líquido

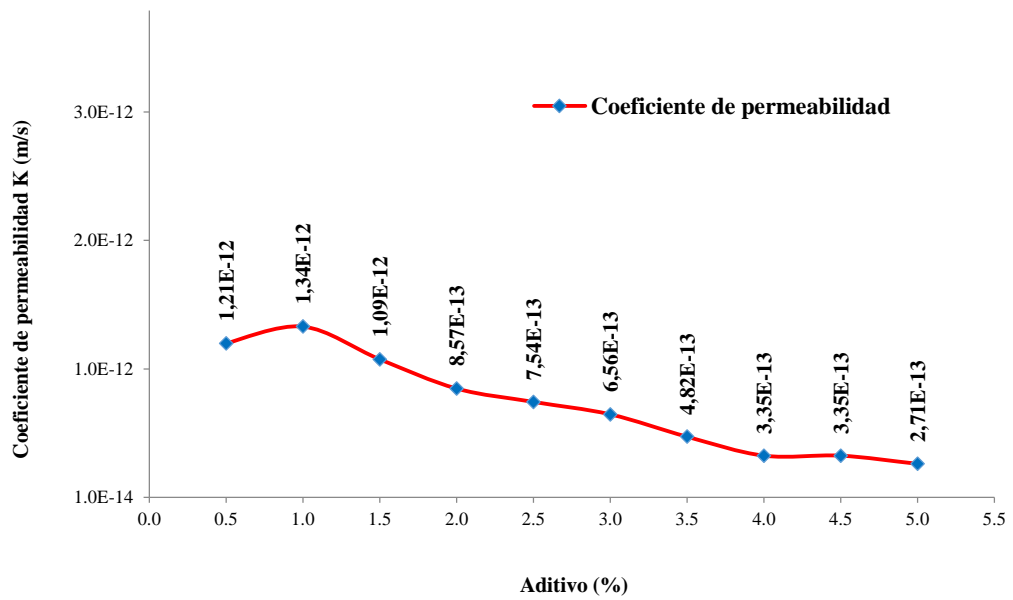


Figura 41. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto  $f_c=175 \text{ kg/cm}^2$  con Sika 1 líquido



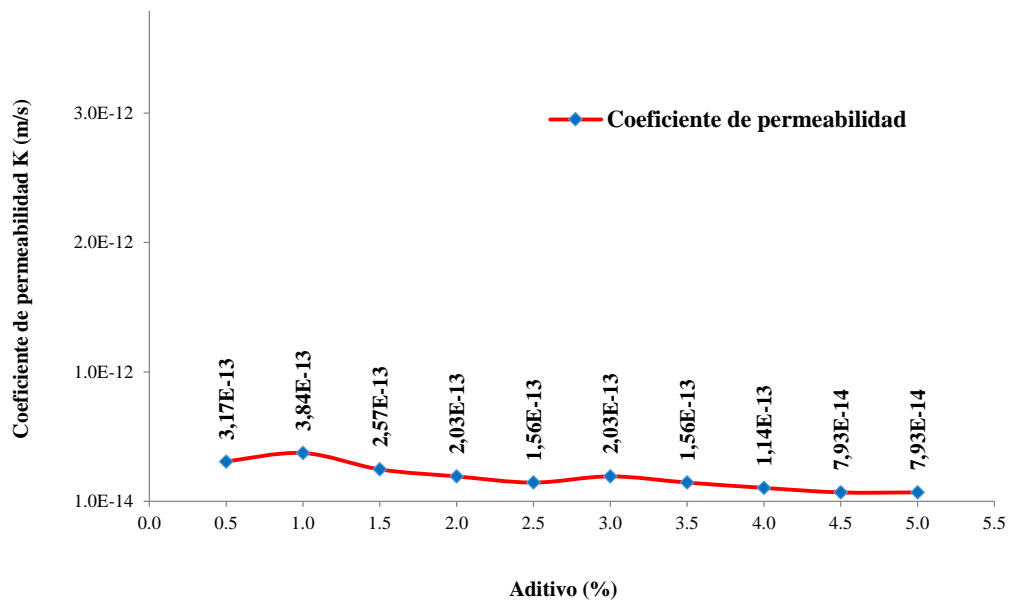


Figura 42. Coeficiente de permeabilidad (K) del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  con Sika 1 líquido

Contrastación de hipótesis específica 02: En las figuras 35 al 42 se detallan los coeficientes de permeabilidad (K) de los testigos de concreto, cuya aplicación de aditivos impermeabilizantes fue en el orden: Z 1 líquido, sin aditivo, Chema 1 líquido y Sika 1 líquido, cuyas resistencias fueron  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ ; los coeficientes más elevados fueron:  $2,48 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$ ,  $5,38 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$ ,  $1,25 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$  y  $1,34 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$  respectivamente, mismos que tuvieron lugar en concreto de  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ .

Para la contrastación de la hipótesis específica 03, se recurre a las figuras 43 y 44, en las cuales se presentan los coeficientes de permeabilidad (K) de los sesenta y seis testigos del concreto:

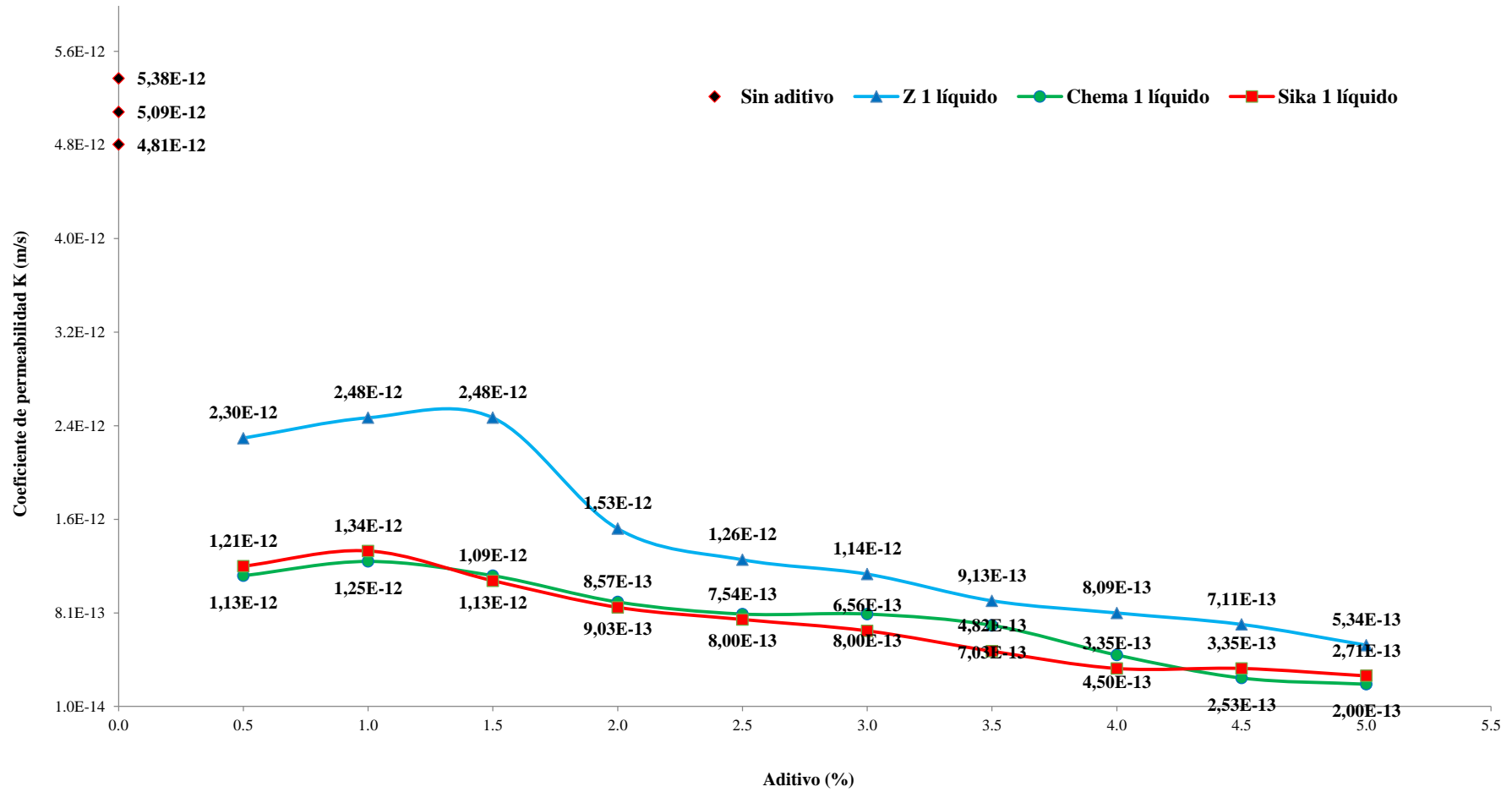


Figura 43. Comparación de los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$

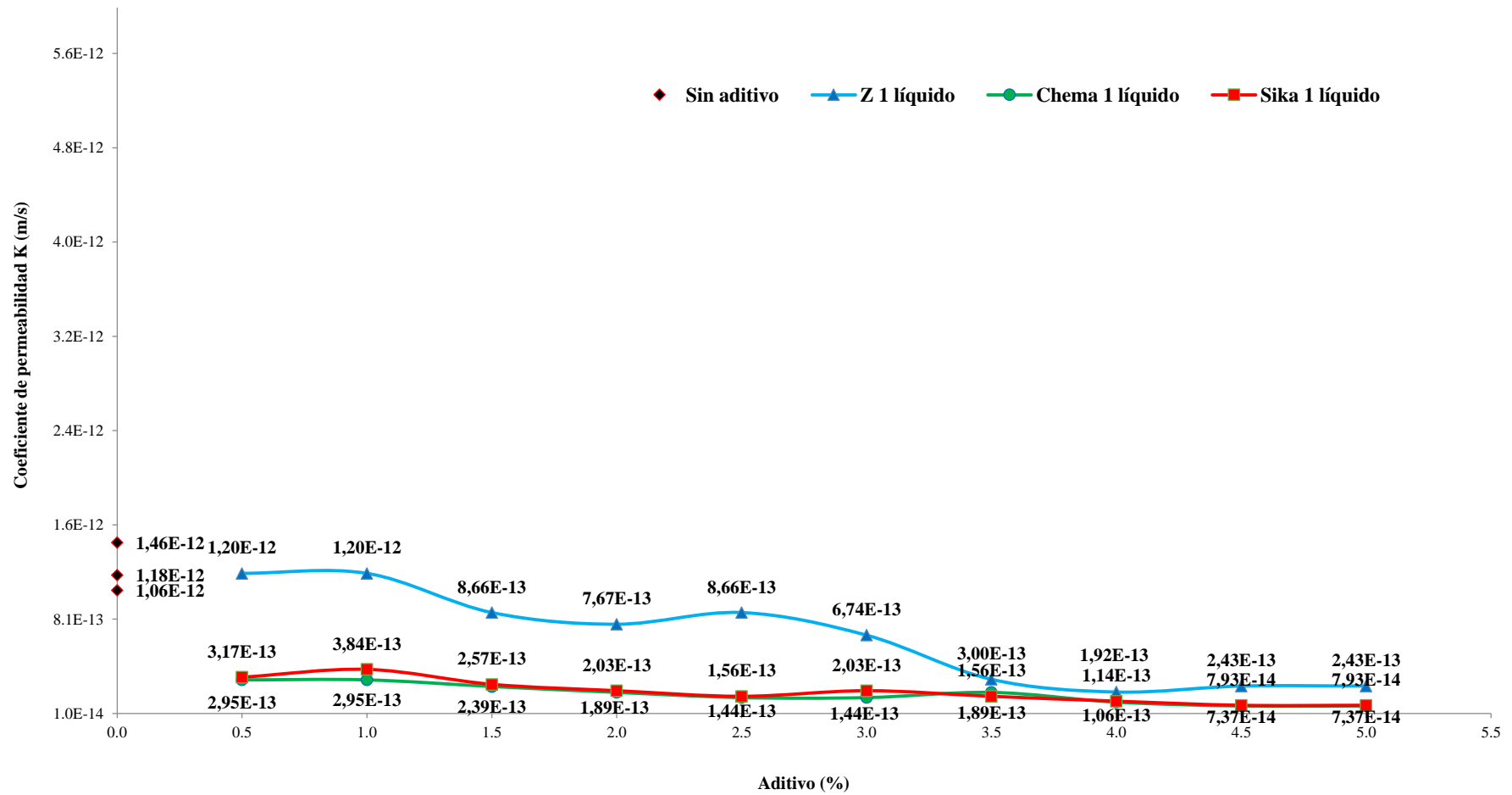


Figura 44. Comparación de los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Contrastación de hipótesis específica 03: En las figuras 43 y 44 se detallan los coeficientes de permeabilidad (K) de los testigos de concreto, cuya aplicación de aditivos impermeabilizantes fue en el orden: Z 1 líquido, sin aditivo, Chema 1 líquido y Sika 1 líquido; según la figura 43 de  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$ , los coeficientes más elevados fueron:  $2,48 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$ ,  $5,38 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$ ,  $1,25 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$  y  $1,34 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$  respectivamente; según la figura 44 de  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$  los coeficiente de más elevados fueron:  $1,20 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$ ,  $1,46 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$ ,  $2,95 \text{ E}^{-13} \text{ m/s}$  y  $3,84 \text{ E}^{-13} \text{ m/s}$  respectivamente.

### **5.3 Discusión de resultados**

Según la tabla A 6, Profundidad de penetración: La penetración del agua fue posible, ya que se ejerció sobre los testigos de concreto, una presión de 72,52 psi, tal como indica la norma española (UNE-EN 12390-8), misma que la presente investigación considera como referencia, cabe señalar que la profundidad máxima registrada en los testigos, en cuyo concreto se aplicó aditivos impermeabilizantes Z 1 líquido, Chema 1 líquido y Sika 1 líquido en porcentajes de 0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 %; 3,0 %; 3,5 %; 4,0 %; 4,5 % y 5,0 % del peso de cemento, fue de 28 mm, mientras que la profundidad máxima en los testigos, en cuyo concreto no se aplicó aditivos fue de 37 mm.

Según la tabla A 8, Coeficientes de permeabilidad (K) del concreto: Para el cálculo de los coeficientes de permeabilidad se recurrió a la ecuación 2, en la cual uno de los datos necesarios fue la profundidad de penetración mismos que se detallan en la tabla A 6, asimismo fue necesario hallar la porosidad del concreto utilizado en la investigación, dicho concreto fue  $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$  y  $210 \text{ kg/cm}^2$ , cabe mencionar que el coeficiente máximo registrado en los testigos, en cuyo

concreto se aplicó aditivos impermeabilizante Z 1 líquido, Chema 1 líquido y Sika 1 líquido, en porcentajes de 0,5 %; 1,0 %; 1,5 %; 2,0 %; 2,5 %; 3,0 %; 3,5 %; 4,0 %; 4,5 % y 5,0 % del peso de cemento, fue de  $2,48 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$ , mientras que el coeficiente máximo de testigos sin aditivos fue de  $5,38 \text{ E}^{-12} \text{ m/s}$ .

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 Conclusiones

La obtención de los testigos de concreto se efectuó en condiciones de laboratorio según la NTP 339,183 en mayo 2018 en la ciudad de Tacna, cuya temperatura ambiente aprox. fue de 23° C, por tanto, cabe señalar que las conclusiones de la presente investigación se limitan a ello.

**Primera.** Se alcanzó eficiencia en el concreto, ya que la norma NTC 4483 considerada como referencia por la presente investigación, indica: profundidad de penetración < 30 mm, es permeabilidad baja (ver tabla 8); en este caso las profundidades máximas penetradas en el concreto por la acción del agua en presión fueron:  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  de 28 mm y en  $210 \text{ kg/cm}^2$  de 20 mm, encontrándose por debajo de 30 mm. Cabe señalar que, a mayor resistencia del concreto, se reduce la permeabilidad del mismo.

**Segunda.** Se identificó las profundidades penetradas en los testigos de concreto, por la acción del agua en presión (ver tabla A 6), dichas profundidades

revelan el comportamiento permeable de la muestra, en este caso son sesenta y seis testigos, de los cuales:  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  con Z 1 líquido 10, sin aditivo 03, con Chema 1 líquido 10 y Sika 1 líquido 10;  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con Z 1 líquido 10, sin aditivo 03, con Chema 1 líquido 10 y Sika 1 líquido 10.

**Tercera.** Se clasificó los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto en tres niveles (ver tabla A 8), para lo cual se consideró la norma NTC 4483, la cual señala:  $< E^{-12}$  permeabilidad baja,  $E^{-12}$  a  $E^{-10}$  permeabilidad media y  $> E^{-10}$  permeabilidad alta (ver tabla 8); los coeficientes de permeabilidad (K) del concreto más elevado fueron: Z 1 líquido 1 % –  $2,48 E^{-12} \text{ m/s}$ , sin aditivo  $5,38 E^{-12} \text{ m/s}$ , Chema 1 líquido 1 % –  $1,25 E^{-12} \text{ m/s}$  y Sika 1 líquido 1 % –  $1,34 E^{-12} \text{ m/s}$ ; los cuatro casos se encuentran en permeabilidad media, cabe señalar que dichos coeficientes se dieron en concreto  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ .

**Cuarta.** Se determinó el porcentaje de aditivo impermeabilizante con el cual se alcanzó eficiencia del concreto, en  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$ : Z 1 líquido desde 3,5 %; Chema 1 líquido desde 2 % y Sika 1 líquido desde 2 % (ver figura 43); en  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ : Z 1 líquido desde 1,5 %, Chema 1 líquido desde 0,5 % y Sika 1 líquido desde 0,5 % (ver figura 44).

## **6.2 Recomendaciones**

El equipo utilizado para efectuar los veintidós ensayos de permeabilidad no cuenta con certificación, ya que el país no cuenta con norma alguna, por tanto, cabe señalar que las presentes recomendaciones se limitan a ello.

**Primera.** Se recomienda aplicar aditivos impermeabilizantes en estructuras cuyo concreto se encontrará en contacto directo y permanentemente con agua en presión, a fin de alcanzar eficiencia.

**Segunda.** Se recomienda identificar las profundidades de penetración en el concreto, a fin de analizar su comportamiento permeable.

**Tercera.** Se recomienda determinar el coeficiente de permeabilidad (K) del concreto, para comparar y clasificar en el nivel correspondiente, a fin de mejorar si el caso así lo requiera.

**Cuarta.** Se recomienda determinar el porcentaje de aditivo impermeabilizante, con el cual el concreto es eficiente frente a la presión de agua, a fin de aplicar en el proceso de mezclado.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS<sup>[U21]</sup>

Abanto, F. (2017). *Tecnología del concreto*. Lima, Perú: San Marcos. <sup>[U22]</sup>

Agüero, R. (2004). *Guía para el diseño y construcción de reservorios apoyados*.

Recuperado de

[http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/038\\_dise%C3%B1o\\_y\\_construccion\\_reservorios\\_apoyados/dise%C3%B1o\\_y\\_construccion\\_reservorios\\_apoyados.pdf](http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d23/038_dise%C3%B1o_y_construccion_reservorios_apoyados/dise%C3%B1o_y_construccion_reservorios_apoyados.pdf)

Asocem e indecopi. (2009). *Conferencia inicial del seminario aditivos y adiciones en el concreto*. Recuperado de

<http://ingecivilcusco.blogspot.com/2009/07/aditivos-aspectos-generales.html>

ASTM C 556. (1997). *Standard test method for resistance of overlaze decorations to attack by detergents*. West Conshohocken Pennsylvania, USA.

ASTM C 29. (1997). *Standard test method for bulk density (unit weight) and voids in aggregate*. West Conshohocken Pennsylvania, USA.

ASTM C 131. (2006). *Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the los angeles machine*. West Conshohocken Pennsylvania, USA.

ASTM C 127. (2007). *Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate*. West Conshohocken Pennsylvania, USA.

ASTM C 128. (2012). *Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate*. West Conshohocken Pennsylvania, USA.

ASTM C 136. (2014). *Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates*. West Conshohocken Pennsylvania, USA.

ASTM C 494. (1992). *Standard specification for chemical admixtures for concrete*. West Conshohocken Pennsylvania, USA.

ASTM C 642. (2013). *Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete*. West Conshohocken Pennsylvania, USA.

Best, J. W. (1982). *Como investigar en educación*. Madrid, España: Ediciones Morata.

Comité técnico de normalización. (2013). *NTP 339,183 práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio*. Publicado en el diario oficial El Peruano el 01 de febrero de 2013.

Comité técnico de normalización. (2013). *NTP 339,185 método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados*

*por secado*. Publicado en el diario oficial El Peruano el 24 de agosto de 2013.

Comité técnico de normalización. (2001). *NTP 400,010 extracción y preparación de las muestras*. Publicado en el diario oficial El Peruano el 07 de febrero de 2001.

Comité técnico de normalización. (2001). *NTP 400,012 análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Publicado en el diario oficial El Peruano el 17 de junio de 2001.

Comité técnico de normalización. (1999). *NTP 400,017 método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*. Publicado en el diario oficial El Peruano el 29 de abril de 1999.

Comité técnico de normalización. (2002). *NTP 400,019 método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la gradación en agregados gruesos menores por la abrasión e impacto en la máquina de los ángeles*. Publicado en el diario oficial El Peruano el 09 de febrero de 2002.

Comité técnico de normalización. (2002). *NTP 400,021 método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso*. Publicado en el diario oficial El Peruano el 30 de mayo de 2002.

Comité técnico de normalización. (2013). *NTP 400,022 método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y*

*absorción del agregado fino*. Publicado en el diario oficial El Peruano el 16 de enero de 2014.

Chem masters del Perú SA. (2018). *Hoja técnica impermeabilizante*. Recuperado de <http://www.chema.com.pe/construccion/impermeabilizantes/impermeabilizantes-integrales/>

Comité 212 ACI. (1984). *Aditivos para hormigón*. Recuperado de <http://materconstrucc.revistas.csic.es/index.php/materconstrucc/article/viewFile/909/1220>

Comité técnico. (2000). *UNE-EN 12390-8 ensayos de hormigón endurecido profundidad de penetración de agua bajo presión*. Publicado en el diario oficial de la unión europea el 8 de octubre de 2000.

Euclid group toxement. (2017). *Concreto poroso o concreto permeable*. Recuperado de [http://www.toxement.com.co/media/3374/concreto\\_poroso.pdf](http://www.toxement.com.co/media/3374/concreto_poroso.pdf)

Fernández, M. (2013). *Hormigón*. Madrid, España: Garceta grupo editorial.

Gete, A. (1977). *Impermeabilización del hormigón*. Recuperado de <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2688/3001>

- Guevara, M. E. (1992). *Estructuras hidráulicas*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/alfredoarandohuamannahui7/estructuras-hidraulicas-mguevara>
- Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Caldas, Colombia: Grupo editorial Iberoamericano.
- Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Lima, Perú: Fondo editorial.
- Hernández, R. (1998). *Metodología de la investigación*. México: McGraw-Hill/Interamericana.
- Hermida, G. (2014). *Concreto impermeable*. Recuperado de <https://col.sika.com/dms/getdocument.get/248ab791-345e-3351-b9ef-72156bd35e68/Concreto%20Impermeable.pdf>
- Huerta, R. (2005). *Relleno fluido, un suelo líquido*. Recuperado de <http://www.revistacyt.com.mx/images/portada/2005/pdf/septiembre.pdf>
- Instituto colombiano de normas técnicas y certificación. (1998). *NTC 4483 método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto al agua*. Publicado en el diario oficial de la república de Colombia el 23 de setiembre de 1998.
- Instituto nacional de normalización. (1997). *NCh2262 hormigón y mortero, métodos de ensayos, determinación de la impermeabilidad al agua y método de la penetración de agua bajo presión*. Publicado en el diario oficial de la república de Chile el 23 de octubre de 1997.

- Lam, R. M. (2008). *Comunicación-los términos: eficiencia, eficacia y efectividad ¿son sinónimos en el área de la salud?* La Habana, Cuba.
- Mager, R. F. (1975). *Medición del intento educativo*. Buenos Aires, Argentina: Guadalupe.
- Mielenz, R. C. (1978). *Aditivos químicos para el concreto*. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/316198385/2321r-00-puzolanas>
- Moreno, A. J. (2015). *Implementación del método de presión para medir la permeabilidad en el concreto (tesis de pregrado)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima/Perú. Recuperado de [http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4401/1/moreno\\_va.pdf](http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/4401/1/moreno_va.pdf)
- Municipalidad distrital de Curibaya. (2016). *Creación del servicio de agua del sistema de almacenamiento para riego en la sección Curibaya Pampa, distrito de Curibaya, provincia de Candarave – Tacna*. Recuperado de [http://ofi5.mef.gob.pe/appFs/Download.aspx?f=10099\\_opimdpcolla\\_2016628\\_142334.pdf](http://ofi5.mef.gob.pe/appFs/Download.aspx?f=10099_opimdpcolla_2016628_142334.pdf)
- Oquendo, E. L. (2013). *Evaluación y selección de aditivos impermeabilizantes para concreto con resistencia de 450 Kgf/cm<sup>2</sup> (tesis de pregrado)*. Universidad Simón Bolívar, Sartenejas/Venezuela. Recuperado de <http://159.90.80.55/tesis/000162523.pdf>
- Portugal, P. (2007). *Tecnología del concreto de alto rendimiento*. Paris, Francia: Lafayette.

- Rivera, G. A. (2015). *Concreto simple capítulo 11 aditivos para mortero y concreto*. Recuperado de <ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/geanrilo/docs/FIC%20y%20GEOTEC%20SEM%20de%202010/Tecnologia%20del%20Concreto%20-%20PDF%20ver.%202009/Cap.%2011%20-%20Aditivos%20para%20morteros%20o%20concretos.pdf>
- Rodríguez, M. J. (2005). *Revista iberoamericana de evaluación educativa*. Madrid, España: Red iberoamericana de investigación sobre cambio y eficacia escolar.
- Rodríguez, C. (2015). *Eficiencia de aditivos impermeabilizantes por cristalización para el hormigón en Guayaquil (tesis de pregrado)*. Universidad Espíritu Santo, Samborondón/Ecuador. Recuperado de <https://docplayer.es/66701726-Eficiencia-de-aditivos-impermeabilizantes-por-cristalizacion-para-el-hormigon-en-guayaquil.html>
- Colina, J. N. (s.f.). *Propiedades del concreto fresco y endurecido*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/349383508/propiedades-del-concreto-pdf>
- Sika Perú S.A.C. (2018). *Hoja técnica impermeabilizante*. Recuperado de [https://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/mercados\\_sika/sika-aditivos-concreto/descargas-aditivos-concreto/hojas-tecnicas-aditivos-concreto.html?page=4](https://per.sika.com/es/soluciones-y-productos/mercados_sika/sika-aditivos-concreto/descargas-aditivos-concreto/hojas-tecnicas-aditivos-concreto.html?page=4)
- Sika mexicana. (2013). *Concreto impermeable*. Recuperado de [www.sika.com.mx](http://www.sika.com.mx)

- Toirac, J. (2004). *Patología de la construcción grietas y fisuras en obras de hormigón origen y prevención*. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87029104>
- Valderrama, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos y tesis de investigación científica*. Lima, Perú: San Maros.
- Vargas, R. y Sciaraffia, R. (2006). *Diseño y evaluación de hormigones autocompactantes*. Recuperado de <https://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/download/vargas/pdf>
- Yura S.A. (2017). *Ficha técnica cemento portland tipo IP*. Recuperado de <http://www.yura.com.pe/productos/index.html>
- Z aditivos S A. (2018). *Ficha técnica impermeabilizante*. Recuperado de <https://www.zaditivos.com.pe/impermeabilizantes-para-tarrajeo/>
- Zabalza, M. Á. (2001). *Competencias personales y profesionales en el practicum*. Madrid, España: Narcea ediciones