

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL



**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO
DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN
LA CIUDAD DE CHICLAYO**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

AUTOR

JORGE ERNESTO JACINTO AQUINO

ASESOR

MANUEL ALEJANDRO BORJA SUAREZ

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

Chiclayo, 2021

**DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO
FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO**

PRESENTADA POR:

JORGE ERNESTO JACINTO AQUINO

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL AMBIENTAL

APROBADA POR

Carlos Rafael Tafur Jimenez

PRESIDENTE

César Eduardo Cachay Lazo

SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez

VOCAL

Índice

Resumen	15
Abstract	16
I. Introducción	17
II. Marco teórico	20
2.1. Antecedentes del problema	20
2.1.1. A nivel Local	20
2.1.2. A nivel Nacional.....	20
2.1.3. A nivel Internacional	21
2.2. Bases Teórico Científicas.....	22
2.2.1. Concreto Permeable	22
2.2.2. Materiales empleados en la elaboración de concreto permeable	22
2.2.3. Mezclado del concreto permeable.....	27
2.2.4. Aplicaciones	28
2.2.5. Ventajas del concreto permeable.....	28
2.2.6. Desventajas del concreto permeable	28
2.2.7. Propiedades del concreto permeable es estado fresco.....	29
2.2.8. Propiedades del concreto permeable es estado endurecido.....	30
2.2.9. Datos preliminares para el diseño de mezcla del concreto permeable	33
2.2.10. Procedimiento para el diseño de mezcla según la norma ACI-522 R	37
2.2.11. Compactación en el concreto permeable	48
2.2.12. Determinación de la permeabilidad del concreto permeable.....	53
2.2.13. Intensidad de lluvia como indicador de la permeabilidad	58
2.2.14. Definición de términos básicos.....	61
III. Metodología	62
3.1 Tipo y nivel de investigación	62
3.2 Diseño de investigación	62
3.3 Población y muestra	63
3.4 Criterios de selección	67
3.5 Operacionalización de variables.....	68
3.6 Métodos.....	70
3.6.1 Ensayo a los agregados	70
3.6.2 Ensayo al concreto en estado fresco.....	103
3.6.3 Ensayo al concreto en estado endurecido.....	114
3.7 Técnicas.....	126
3.7.1 Técnicas para la recolección de datos	126
3.7.2 Técnicas para el procesamiento de datos	126
3.8 Procedimientos	127
3.9 Plan de procesamiento y análisis de datos	127
3.10 Matriz de consistencia.....	129
3.11 Consideraciones éticas	130
IV. Resultados	131
4.1. Propiedades del agregado fino utilizado	131
4.2 Propiedades del agregado grueso utilizado	137
4.3 Evaluación de las propiedades en estado fresco de las mezclas de prueba (MP)	147
4.4 Evaluación de la resistencia a compresión (MP) y selección de la relación a/c	152
4.5 Evaluación de las propiedades en estado fresco de las mezclas de estudio	154
4.6 Evaluación de las propiedades en estado endurecido de las 15 mezclas de estudio	161
V. Discusión.....	175

5.1 Influencia de la incorporación de agregado fino y aditivo	175
5.2. Evaluación económica de las mezclas de estudio	186
5.3. Selección de diseños para diferentes usos	192
VI. Conclusiones	194
VII. Recomendaciones	195
VIII. Referencias	196
IX. Anexos	200

Lista de figuras

Figura 1 Almacenamiento del Cemento Tipo I.....	23
Figura 2 Almacenamiento de agregado grueso.....	24
Figura 3 Almacenamiento de agregado fino.....	25
Figura 4 Aditivo SikaCem Plastificante.....	26
Figura 5 Mezclado del concreto permeable.....	27
Figura 6 Reposo de la mezcla de concreto.....	27
Figura 7 Compactación de las vigas.....	31
Figura 8 Permeámetro de carga constante.....	32
Figura 9 Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire.....	35
Figura 10 Relación entre el contenido de aire y la capacidad de filtración.....	38
Figura 11 Variación del contenido de aire y la relación agua/cemento.....	39
Figura 12 Relación entre el volumen de pasta y el volumen de aire.....	40
Figura 13 Compactación de pavimentos.....	48
Figura 14 Compactación mediante rodillo giratorio de 32 Kg.....	48
Figura 15 Martillo Marshall y martillo para Próctor Estándar.....	49
Figura 16 Peso total del Martillo de Próctor Estándar.....	51
Figura 17 Tubo de acrílico de 4” y 50 cm de altura.....	55
Figura 18 Materiales empleados en la elaboración del permeámetro.....	56
Figura 19 Proceso constructivo del permeámetro.....	57
Figura 20 Nivelación del tramo horizontal del permeámetro.....	58
Figura 21 Llenado de la tubería de acrílico.....	58
Figura 22 Tamices N°16 y N°200.....	71
Figura 23 Lavado del agregado fino.....	71
Figura 24 Agregado grueso secado a una masa constante.....	71
Figura 25 Agregado fino secado a una masa constante.....	71
Figura 26 Tamices para análisis granulométrico del agregado grueso.....	72
Figura 27 Tamices para análisis granulométrico del agregado fino.....	72
Figura 28 Horno a 110°C.....	72
Figura 29 Tazones o taras.....	72
Figura 30 Selección del agregado grueso para granulometría.....	73
Figura 31 Cuarteo del agregado grueso para granulometría.....	73
Figura 32 Pesado de 5 kg de agregado grueso para granulometría.....	74
Figura 33 Tamizado del agregado grueso.....	74
Figura 34 Agregado grueso de la Cantera La Victoria retenido en el tamiz de 3/4”.....	75
Figura 35 Agregado grueso de la Cantera La Victoria retenido en el tamiz de 1/2”.....	75
Figura 36 Agregado fino retenido en el tamiz de N°4.....	76
Figura 37 Agregado fino retenido en el tamiz de N°8.....	76
Figura 38 Agregado fino retenido en el tamiz de N°16.....	76
Figura 39 Agregado fino retenido en el tamiz de N°50.....	76
Figura 40 Agregado fino retenido en el tamiz de N°100.....	77
Figura 41 Agregado fino retenido en el tamiz de N°200.....	77
Figura 42 Agregado fino retenido sobre la malla N°16 NTP 400.015.....	79
Figura 43 Agregado fino para ensayo NTP 400.015.....	79
Figura 44 Agregado fino sumergido en agua destilada.....	79
Figura 45 Compresión del agregado para desprender los terrones.....	79
Figura 46 Tamizado húmedo de los terrones en tamiz N°20.....	80
Figura 47 Muestra una vez eliminado los terrones.....	80
Figura 48 Agregado grueso retenido en el tamiz N°4 NTP 400.015.....	80

Figura 49 Agregado grueso retenido en el tamiz de 3/8" NTP 400.015	80
Figura 50 Agregado grueso retenido en el tamiz 3/4" NTP 400.015	80
Figura 51 Tamizado sobre la malla N°8 del agregado retenido en el tamiz N°4.....	80
Figura 52 Agregado grueso sumergido en agua destilada.....	81
Figura 53 Tamices usados para retener los terrones del agregado grueso	81
Figura 54 Agregado fino para ensayo de humedad.....	82
Figura 55 Muestra secada para contenido de humedad.....	82
Figura 56 Matraz con capacidad de 500 cm ³	83
Figura 57 Cono metálico para verificar el exceso de humedad	83
Figura 58 Pesado de un 1 Kg de muestra de agregado fino	84
Figura 59 Agregado fino cubierto con agua durante 24 h.....	84
Figura 60 Prueba del cono para verificar el secado superficial.....	84
Figura 61 Agregado fino superficialmente seco	84
Figura 62 Pesado de 500 g de agregado fino	85
Figura 63 Pesado del matraz N°1	85
Figura 64 Pesado del matraz N°2.....	85
Figura 65 Vaciado del agregado fino a una tara para secarlo en el horno	85
Figura 66 Eliminación de aire atrapado en el matraz.....	85
Figura 67 Agregado fino introducido dentro del matraz.....	85
Figura 68 Tamizado por la malla N°4 del agregado grueso.....	88
Figura 69 Pesado de 3 Kg para el ensayo de peso específico	88
Figura 70 Lavado del agregado grueso	88
Figura 71 Secado del agregado grueso.....	88
Figura 72 Pesado de la muestra SSS más tara.....	89
Figura 73 Pesado de la tara donde se coloca la muestra SSS.....	89
Figura 74 Muestra SSS en agua	89
Figura 75 Pesado de la canastilla	89
Figura 76 Peso de molde más arena gruesa suelta	90
Figura 77 Varillado del agregado grueso durante el ensayo de peso unitario.....	90
Figura 78 Peso de molde más agregado grueso compactado	91
Figura 79 Peso de molde para determinar el peso unitario de los agregados.....	91
Figura 80 Agregado grueso retenido en la malla de 1/2"	92
Figura 81 Agregado grueso retenido en la malla de 3/8"	92
Figura 82 Agregado grueso y esferas en la Máquina de los Ángeles	92
Figura 83 Agregado grueso retenido en el tamiz N°12 después de las 500 rev	92
Figura 84 Tamizado del agregado por la malla N°12	93
Figura 85 Utilización de EPPS durante el Ensayo de Abrasión.....	93
Figura 86 Agregado fino para ensayo de impurezas orgánicas.....	96
Figura 87 Color Gardner patrón N°1 en el ensayo NTP 400.024	96
Figura 88 Partículas con una cara fracturada	98
Figura 89 Peso de material con una cara fracturada.....	98
Figura 90 Partículas con dos caras fracturadas	98
Figura 91 Peso de material con dos caras fracturadas.....	98
Figura 92 Aparato calibrador	99
Figura 93 Prueba de alargamiento.....	99
Figura 94 Pesado de partículas de 3/4" que no son chatas ni alargadas.....	99
Figura 95 Muestras de partículas de 3/4" después del ensayo	99
Figura 98 Molde de CBR	102
Figura 99 Cálculo del peso específico.....	102
Figura 100 Cono de Abrams	103

Figura 101 Varilla lisa 5/8"	103
Figura 102 Slump de la muestra M-1	104
Figura 103 Slump de la muestra M-2	104
Figura 104 Pesado de molde más muestra MP-5	106
Figura 105 Pesado del molde metálico de 4"x8"	106
Figura 106 Compactación con el martillo de Proctor Estándar	106
Figura 107 Vaciado en la Olla Washington	106
Figura 108 Pesado de la Olla Washington vacía	107
Figura 109 Pesado de la Olla Washington Mezcla MP-3	107
Figura 110 Enrasado del molde	109
Figura 111 Colocación del sello hermético	109
Figura 112 Ingreso de agua a la Olla Washington por el grifo 1	109
Figura 113 Bombeo de aire hasta alcanzar la presión inicial	109
Figura 114 Lectura del contenido de vacíos muestra M-15	109
Figura 115 Lectura del contenido de la muestra M-1	109
Figura 116 Temperatura ambiente al momento del vaciado	110
Figura 117 Temperatura de la mezcla M-15	110
Figura 118 Moldes prismáticos de 6"x6"x22"	112
Figura 119 Probetas de concreto permeable de 6"x12"	112
Figura 120 Curado de vigas y cilindros en agua	113
Figura 121 Desmoldado de vigas de concreto permeable	113
Figura 122 Espécimen de concreto secado en el horno	116
Figura 123 Cepillado del espécimen de concreto permeable	116
Figura 124 Medición del largo de especímenes	116
Figura 125 Temperatura del agua para calcular la densidad del agua	116
Figura 126 Eliminación del aire atrapado	116
Figura 127 Obtención del peso sumergido	116
Figura 128 Tipos de falla de muestras ensayas a compresión	118
Figura 129 Falla columnar y cono M-15	118
Figura 130 Falla cono y corte M-14	118
Figura 131 Fallar columnar M-13	119
Figura 132 Fallar columnar M-12	119
Figura 133 Fallar columnar M-11	119
Figura 134 Falla cono y corte M-10	119
Figura 135 Enrasado de vigas prismáticas	121
Figura 136 Compactación de vigas prismáticas	121
Figura 137 Rotura de viga en el tercio central M-15	121
Figura 138 Ubicación del tramo central en vigas para ensayo	121
Figura 139 Probeta M-15 sellada con celofán	122
Figura 140 Ensayo con el permeámetro de carga variable	122
Figura 141 Compactación de muestras	125
Figura 142 Muestra M-14 ensayada	125
Figura 143 Tamizado de las muestras ensayadas por abrasión	125
Figura 144 Muestras M-15 ensayada en la Máquina de los Ángeles	125
Figura 145 Curva Granulométrica del agregado fino	132
Figura 146 División de los agregados inocuos y potencialmente reactivos	135
Figura 147 Coloración de la sustancia en suspensión sobre el agregado fino	136
Figura 148 Curva Granulométrica del agregado grueso de La Victoria	138
Figura 149 Curva Granulométrica del agregado grueso de la Cantera Tres Tomas	139
Figura 150 División de los agregados inocuos y potencialmente reactivos	144

Figura 151 Asentamiento en las mezclas de prueba	148
Figura 152 Temperatura en las mezclas de prueba	149
Figura 153 Variación de los vacíos en las mezclas MP-1 a MP-8.....	150
Figura 154 Variación de las densidades de las mezclas MP-1 a MP-8.....	151
Figura 155 Variación de la resistencia a compresión en las mezclas MP-1 a MP-8.....	153
Figura 156 Asentamiento de las mezclas M-1 a M-15.....	155
Figura 157 Temperatura de las mezclas M-1 a M-15	156
Figura 158 Variación de las densidades en las mezclas M-1 a M-15	159
Figura 159 Variación de los contenidos de vacíos en las mezclas M-1 a M-15	159
Figura 160 Contenido de vacíos por el método de presión y gravimétrico.....	161
Figura 161 Densidad del concreto permeable en estado fresco y endurecido	162
Figura 162 Contenido de vacíos del concreto permeable en estado fresco y endurecido	162
Figura 163 Resistencia a la compresión con 0% de agregado fino	163
Figura 164 Resistencia a la compresión con 5% de agregado fino	164
Figura 165 Resistencia a la compresión con 10% de agregado fino	165
Figura 166 Resistencia a la compresión con 15% de agregado fino	166
Figura 167 Resistencia a la compresión con 20% de agregado fino	167
Figura 168 Resistencia a la compresión con 0 mL x saco de aditivo.....	168
Figura 169 Resistencia a la compresión con 250 mL x saco de aditivo.....	168
Figura 170 Resistencia a la compresión con 500 mL x saco de aditivo.....	169
Figura 171 Variación de la resistencia a flexión de las 15 mezclas de estudio.....	170
Figura 172 Resistencia a la abrasión de las 15 mezclas experimentales.....	171
Figura 173 Tasa de infiltración e intensidad de lluvia requerida	173
Figura 174 Asentamiento vs Contenido de agregado fino	175
Figura 175 Asentamiento vs Contenido de agregado fino	176
Figura 176 Densidad en estado fresco vs Contenido de agregado fino	177
Figura 177 Contenido de vacíos en estado fresco vs Contenido de agregado fino	178
Figura 178 Densidad estado endurecido vs Contenido de agregado fino	179
Figura 179 Contenido de vacíos en estado endurecido vs Contenido de agregado fino	180
Figura 180 Resistencia a la compresión a los 28 días vs Contenido de agregado fino	181
Figura 181 Resistencia a la flexión a los 28 días vs Contenido de agregado fino	182
Figura 182 Resistencia a la compresión vs Resistencia a flexión	183
Figura 183 Resistencia al impacto y abrasión a los 28 días vs Contenido de agregado fino .	184
Figura 184 Coeficiente de infiltración vs Contenido de agregado fino	185
Figura 185 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-15 (28 días).....	264
Figura 186 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-15 (7 días).....	264
Figura 187 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-14 (28 días).....	264
Figura 188 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-14 (7 días).....	264
Figura 189 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-13 (28 días).....	265
Figura 190 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-13 (7 días).....	265
Figura 191 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-15 (28 días)	265
Figura 192 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-15 (14 días)	265
Figura 193 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-15 (7 días)	266
Figura 194 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-14 (28 días)	266
Figura 195 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-14 (14 días)	266
Figura 196 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-14 (7 días)	266
Figura 197 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-13 (28 días)	267
Figura 198 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-13 (14 días)	267
Figura 199 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-13 (7 días)	267
Figura 200 Cilindro de concreto permeable antes de ensayo a compresión	267

Figura 201 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-15 (28 días).....	268
Figura 202 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-15 (7 días).....	268
Figura 203 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-14 (28 días).....	268
Figura 204 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-14 (7 días).....	268
Figura 205 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-13 (28 días).....	268
Figura 206 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-13 (7 días).....	268
Figura 207 Ensayo de permeabilidad ACI-522R	269
Figura 208 Ubicación del proyecto	276
Figura 209 Ubicación de la Microcuenca 137771	277
Figura 210 Equipos de protección individual (EPI).....	286

Lista de tablas

Tabla 1 Porcentajes típicos de los componentes del cemento Portland	23
Tabla 2 Límites granulométricos del agregado fino.....	25
Tabla 3 Requisitos para pavimentos especiales según Norma CE 010.....	35
Tabla 4 Requisitos para pavimentos urbanos según Norma CE 010	36
Tabla 5 Valor efectivo de b/bo.....	38
Tabla 6 Energía de compactación según el grado de consolidación requerida.....	50
Tabla 7 Energía de compactación según la NTP 339.230.....	51
Tabla 8 Número de golpes para la compactación de probetas de 6"x12"	52
Tabla 9 Número de golpes para la compactación de probetas de 4"x8"	52
Tabla 10 Número de golpes para la compactación de vigas de 6"x6"x22"	53
Tabla 11 Número de golpes para compactación de probetas 4"x8"	53
Tabla 12 Variables en las mezclas de prueba.....	63
Tabla 13 Identificación de las 8 mezclas de prueba.....	64
Tabla 14 Variables en las mezclas de estudio	64
Tabla 15 Identificación de las 15 mezclas de estudio	65
Tabla 16 Resumen del número de testigos por cada ensayo	67
Tabla 17 Tabla de variables e indicadores	69
Tabla 18 Cantidad mínima de muestra para ensayo NTP 400.018	70
Tabla 19 Cantidad mínima de agregado grueso para granulometría.....	73
Tabla 20 Husos granulométricos (NTP 400.012).....	74
Tabla 21 Límites granulométricos del agregado fino (NTP 400.012)	76
Tabla 22 Pesos mínimos de agregado grueso para ensayo NTP 400.015	78
Tabla 23 Tamices usados para la separación de terrones.....	78
Tabla 24 Cantidad de agregado grueso para ensayo de humedad.....	81
Tabla 25 Gradación de muestras para ensayo de abrasión.....	91
Tabla 26 Cantidad de carga según tipo de gradación.....	92
Tabla 27 Colores de vidrio estándar para ensayo de impurezas	96
Tabla 28 Número de capas requeridas en la elaboración de muestras	111
Tabla 29 Número de golpes por cada capa compactada	112
Tabla 30 Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes	117
Tabla 31 Rango de tolerancias para especímenes de 6"x12".....	118
Tabla 32 Matriz de consistencia.....	129
Tabla 33 Resumen de las propiedades del agregado fino	131
Tabla 34 Porcentaje de material más fino que la malla N°200 del agregado fino	131
Tabla 35 Granulometría del agregado fino	132
Tabla 36 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables.....	133
Tabla 37 Contenido de humedad del agregado fino en el mes de abril del 2019.....	133
Tabla 38 Contenido de humedad del agregado fino en el mes de setiembre del 2019	134
Tabla 39 Datos empleados en el cálculo del peso específico del agregado fino.....	134
Tabla 40 Peso específico y absorción del agregado fino	134
Tabla 41 Peso unitario suelto seco y húmedo del agregado fino	134
Tabla 42 Peso unitario compactado seco y húmedo del agregado fino	135
Tabla 43 Cálculo del contenido de vacíos no compactados (Angularidad)	136
Tabla 44 Resumen de propiedades del agregado grueso.....	137
Tabla 45 Granulometría del agregado grueso de La Victoria	138
Tabla 46 Granulometría del agregado grueso de la cantera Tres Tomas	139
Tabla 47 Porcentaje de material más fino que la malla N°200 del agregado grueso.....	140
Tabla 48 Tamizado del agregado grueso para el ensayo de terrones	140

Tabla 49 Porcentaje de terrones y partículas desmenuzables en el agregado grueso	141
Tabla 50 Contenido de humedad del agregado grueso en el mes de abril	141
Tabla 51 Contenido de agregado grueso en el mes de setiembre.....	142
Tabla 52 Datos empleados en el cálculo del peso específico del agregado grueso	142
Tabla 53 Peso específico y absorción del agregado grueso	142
Tabla 54 Peso unitario suelto seco y húmedo del agregado grueso	143
Tabla 55 Peso unitario compactado seco y húmedo del agregado grueso	143
Tabla 56 Gradación del agregado para el ensayo en la máquina de Los Ángeles	143
Tabla 57 Porcentaje de desgaste por abrasión del agregado grueso	144
Tabla 58 Partículas con unas o más caras fracturadas	145
Tabla 59 Partículas con dos o más caras fracturadas	145
Tabla 60 Partículas chatas y alargadas	146
Tabla 61 Cálculo del índice de forma y textura del agregado grueso	146
Tabla 62 Asentamiento de las mezclas de prueba (MP)	147
Tabla 63 Temperatura de las mezclas de prueba.....	148
Tabla 64 Contenido de vacíos en las mezclas de prueba	149
Tabla 65 Densidad de las mezclas MP-1 a MP-8.....	151
Tabla 66 Contenido de vacíos por el método de presión (MP-1 a MP-8).....	152
Tabla 67 Vacíos por el método de presión y gravimétrico de las mezclas MP-1 a MP-8	152
Tabla 68 Asentamiento de las 15 mezclas experimentales	154
Tabla 69 Temperatura de las 15 mezclas experimentales	156
Tabla 70 Contenido de vacíos de las 15 mezclas experimentales.....	157
Tabla 71 Densidad de las 15 mezclas experimentales	158
Tabla 72 Contenido de vacíos por el método de presión y gravimétrico	160
Tabla 73 Densidad y contenido de vacíos en estado fresco y endurecido	161
Tabla 74 Tasa de infiltración y requisito de intensidad de lluvia.....	173
Tabla 75 Costo de concreto permeable en pavimentos de 175 kg/cm ² (M-13).....	187
Tabla 76 Costo de concreto permeable en pavimentos de 175 kg/cm ² (M-14).....	188
Tabla 77 Costo de concreto permeable en pavimentos de 210 kg/cm ² (M-15).....	189
Tabla 78 Costo de concreto en pavimentos de 175 kg/cm ²	190
Tabla 79 Costo de concreto en pavimentos de 210 kg/cm ²	191
Tabla 80 Costo de materiales en muestras de estudio	192
Tabla 81 Resumen de las propiedades en las mezclas de estudio	193
Tabla 82 Estándares de calidad ambiental del aire	279
Tabla 83 Estándares calidad ambiental para el ruido	279
Tabla 84 Matriz de Leopold	280
Tabla 85 Plan de Manejo Ambiental para impactos sobre el aire	282
Tabla 86 Plan de Manejo Ambiental para impactos sobre el agua, suelo, medio biológico y socioeconómico	283
Tabla 87 Límites de exposición al ruido	285

Lista de ecuaciones

Ecuación 1 Resistencia a la flexión en función de la resistencia a compresión.....	31
Ecuación 2 Peso del agregado grueso	37
Ecuación 3 Cálculo del peso y volumen del cemento	41
Ecuación 4 Cálculo del peso y volumen del agua	42
Ecuación 5 Volumen de agregado fino en el concreto poroso	42
Ecuación 6 Cálculo del peso del aditivo	43
Ecuación 7 Cálculo de pesos húmedos en los agregados.....	43
Ecuación 8 Humedad superficial del agregado grueso y fino.....	43
Ecuación 9 Aporte de humedad del agregado grueso y fino.....	43
Ecuación 10 Aporte de humedad del agregado global y agua efectiva.....	44
Ecuación 11 Volúmenes húmedos del agregado grueso y fino.....	44
Ecuación 12 Verificación del volumen de los componentes del concreto	45
Ecuación 13 Distribución del volumen de exceso o déficit	45
Ecuación 14 Peso y volumen adicional del cemento	46
Ecuación 15 Peso y volumen adicional del agua	46
Ecuación 16 Peso y volumen adicional del agua	46
Ecuación 17 Peso y volumen adicional del agregado grueso.....	46
Ecuación 18 Peso y volumen adicional del agregado fino.....	46
Ecuación 19 Disminución del contenido del agua de diseño	47
Ecuación 20 Volumen y peso final del agregado grueso	47
Ecuación 21 Volumen y peso final del agregado fino	47
Ecuación 22 Energía de compactación en el Ensayo de Próctor.....	49
Ecuación 23 Conductividad hidráulica en permeámetros de carga constante	54
Ecuación 24 Conductividad hidráulica en permeámetros de carga variable.....	54
Ecuación 25 Intensidad de lluvia	59
Ecuación 26 Ecuación Dick Peschke	60
Ecuación 27 Porcentaje más fino que pasa por el tamiz N°200.....	71
Ecuación 28 Porcentaje terrones de arcilla del agregado	79
Ecuación 29 Contenido de humedad del agregado	82
Ecuación 30 Peso específico de la masa del agregado fino	86
Ecuación 31 Peso específico de masa SSS del agregado fino.....	86
Ecuación 32 Peso específico aparente del agregado fino.....	86
Ecuación 33 Absorción del agregado fino	86
Ecuación 34 Peso específico de masa del agregado grueso	87
Ecuación 35 Peso específico de masa SSS del agregado grueso	87
Ecuación 36 Peso específico aparente del agregado grueso	87
Ecuación 37 Absorción del agregado del grueso	88
Ecuación 38 Peso unitario del agregado en kg/m ³	90
Ecuación 39 Peso unitario en condición saturado.....	90
Ecuación 40 Cálculo del porcentaje de vacíos	90
Ecuación 41 Concentración de SiO ₂ en los agregados	94
Ecuación 42 Reducción de alcalinidad de los agregados	95
Ecuación 43 Porcentaje de partículas fracturadas	97
Ecuación 46 Angularidad del agregado fino	101
Ecuación 47 Vacíos del agregado fino no compactado.....	102
Ecuación 48 Índice de partícula para cada fracción	102
Ecuación 49 Densidad del concreto en estado fresco	105
Ecuación 50 Densidad Teórica del concreto en estado fresco	105

Ecuación 51 Contenido de Vacíos (U).....	106
Ecuación 52 Densidad en estado endurecido	115
Ecuación 53 Contenido de vacíos en estado endurecido.....	115
Ecuación 54 Resistencia a compresión	117
Ecuación 55 Módulo de rotura para falla en el tercio central	120
Ecuación 56 Módulo de rotura para falla fuera del tercio central	120
Ecuación 57 Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad	123
Ecuación 58 Resistencia a la compresión en función del contenido de agregado fino	181
Ecuación 59 Resistencia a la flexión en función de la resistencia a compresión.....	183

Lista de anexos

Anexo 1: Análisis Granulométrico del Agregado fino.....	200
Anexo 2: Material más fino que la malla N°200 del agregado fino.....	201
Anexo 3: Cantidad de terrones de arcilla del agregado fino	202
Anexo 4 Contenido de humedad del agregado fino	203
Anexo 5: Peso específico y absorción del agregado fino.....	205
Anexo 6: Peso unitario del agregado fino	206
Anexo 7: Impurezas orgánicas del agregado fino	207
Anexo 8: Reactividad potencial álcali-sílice del agregado fino.....	208
Anexo 9 Contenido de vacíos del agregado fino no compactado (Angularidad).....	209
Anexo 10: Granulometría del agregado grueso.....	210
Anexo 11: Material más fino que la malla N°200 del agregado grueso	212
Anexo 12: Cantidad de terrones de arcilla en el agregado grueso	213
Anexo 13: Contenido de humedad del agregado grueso.....	214
Anexo 14: Peso específico y absorción del agregado grueso.....	215
Anexo 15: Peso unitario del agregado grueso	216
Anexo 16: Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso	217
Anexo 17: Reactividad potencial álcali-sílice del agregado grueso.....	218
Anexo 18 Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso	219
Anexo 19 Partículas chatas y alargadas en el agregado grueso	220
Anexo 20 Índice de forma y textura del agregado grueso.....	221
Anexo 21 Temperatura del concreto permeable en estado fresco.....	222
Anexo 22: Asentamiento del concreto permeable en estado fresco.....	224
Anexo 23: Densidad y contenido de vacíos del concreto permeable en estado fresco	226
Anexo 24: Contenido de vacíos por el método de presión.....	229
Anexo 25: Densidad y contenido de vacíos en estado endurecido	231
Anexo 26: Resistencia a la compresión del concreto permeable	233
Anexo 27: Ensayo de resistencia a la flexión del concreto permeable	240
Anexo 28: Resistencia a la degradación por impacto y abrasión.....	244
Anexo 29 Ensayo de permeabilidad ACI 522-R.....	248
Anexo 30: Diseños de mezcla de concreto permeable.....	249
Anexo 31: Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de concreto permeable	264
Anexo 32: Ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de concreto permeable	265
Anexo 33: Ensayo de resistencia a la degradación por impacto y abrasión.....	268
Anexo 34 Ensayo de permeabilidad.....	269
Anexo 35: Especificaciones para la elaboración del concreto permeable	270
Anexo 36: Evaluación de Impacto Ambiental	275
Anexo 37 Equipos de protección individual (EPI).....	285
Anexo 38: Ficha Técnica del aditivo.....	287
Anexo 39: Ficha Técnica del Cemento Tipo I Pacasmayo	289

Resumen

La investigación se centra en la incorporación de agregado fino en cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% y la adición de aditivo SikaCem Plastificante en volúmenes de 250 mL y 500 mL por bolsa de cemento, en el concreto permeable para obtener una resistencia adecuada sin perjudicar la permeabilidad que lo caracteriza.

Las variables independientes son el agregado fino y el aditivo SikaCem Plastificante. Por otra parte, las variables dependientes son las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable; medidas a través de sus indicadores como son: el asentamiento, temperatura, densidad, contenido de vacíos, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a la abrasión y permeabilidad.

Por ello, la investigación es experimental y tiene una muestra de 90 probetas para el ensayo a compresión, 30 probetas para el ensayo de permeabilidad, 60 probetas para el ensayo de abrasión y 60 vigas para el ensayo de flexión.

Se concluyó que utilizando 20% de agregado fino, agregado de 3/4" y una relación agua/cemento de 0.30 se obtienen las propiedades necesarias en el concreto permeable para ser empleado en veredas o ciclovías con una capacidad de drenaje de 22.4 Lt/m²/s, resistencia a la compresión de 189.2 kg/cm² y pérdida de masa por abrasión de 32.7%. Adicionando 500 mL de aditivo SikaCem Plastificante por bolsa de cemento al diseño anterior se mejoran las propiedades del concreto permeable obteniendo una capacidad de drenaje de 19.9 Lt/m²/s, resistencia a la compresión de 213.7 kg/cm² y pérdida de masa por abrasión 28.8%.

Palabras clave: concreto permeable, aditivo SikaCem Plastificante, concreto ligero, ACI-522R

Abstract

The research focuses on the incorporation of fine aggregate in quantities of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% and the addition of SikaCem Plasticizer additive in volumes of 250 mL and 500 mL per bag of cement, in concrete permeable to obtain adequate resistance without impairing the permeability that characterizes it.

The independent variables are the fine aggregate and the SikaCem Plasticizer additive. On the other hand, the dependent variables are the mechanical and hydraulic properties of pervious concrete; measured through its indicators such as: settlement, temperature, density, void content, compressive strength, flexural strength, abrasion resistance and permeability.

Therefore, the research is experimental and has a sample of 90 specimens for the compression test, 30 specimens for the permeability test, 60 specimens for the abrasion test and 60 beams for the bending test.

It was concluded that using 20% fine aggregate, 3/4 "aggregate and a water / cement ratio of 0.30, the necessary properties are obtained in permeable concrete to be used in sidewalks or bicycle lanes with a drainage capacity of 22.4 Lt / m² / s, compressive strength of 189.2 kg / cm² and loss of mass by abrasion of 32.7%. Adding 500 mL of SikaCem Plasticizer additive per bag of cement to the previous design improves the properties of pervious concrete, obtaining a drainage capacity of 19.9 Lt / m² / s, resistance to compression of 213.7 kg / cm² and loss of mass by abrasion 28.8 %.

Keywords: pervious concrete, SikaCem Plastificante additive, lightweight concrete, ACI

522R

I. Introducción

En los últimos años el cambio climático ha tomado gran importancia pues genera destrucción y pérdidas en la infraestructura de las ciudades, siendo más vulnerables los países con economías pequeñas como los de América Latina y entre ellos el Perú.

Debemos considerar que sucesos climáticos extremos han originado deterioros de infraestructuras y capital de USD 200 billones anuales en los últimos años y que algunas de las regiones más afectadas por estos sucesos han perdido súbitamente una parte de su infraestructura. Todo ello afecta la calidad de vida y retrasa el desarrollo de las poblaciones [1].

En el Perú el efecto del cambio climático se ve reflejado en un aumento de la frecuencia e intensidad del fenómeno del niño originando intensas lluvias en la zona norte del país donde no se cuenta con una adecuada infraestructura para funcionar durante las épocas de lluvia.

Así pues, según datos del INDECI el último fenómeno del Niño Costero suscitado desde el mes de diciembre del 2016 a marzo del 2017 afectó a todos los distritos del departamento de Lambayeque, ocasionando un total de 182 mil 955 personas entre damnificadas y refugiadas, del mismo modo generó perjuicios y deterioros a la infraestructura siendo necesario la evacuación de aguas estancadas con 78 motobombas y maquinaria adicional [2].

A esto se suma una deficiente gestión del agua en algunas zonas del norte del Perú y en especial en la región de Lambayeque, donde la excesiva explotación formal e informal de aguas subterráneas por la población y sector agrícola ha ocasionado un estrés hídrico de los acuíferos peligrando el abastecimiento a distritos como Olmos, Jayanca, Motupe y Tucume [3].

Ante esta situación el concreto permeable surge como una alternativa de construcción sustentable siendo empleado por primera vez en 1974 en Japón para dar solución a las escorrentías en las zonas urbanas por las intensas lluvias de este país [4].

Si bien el concreto permeable y su utilización no es un tema relativamente nuevo, pues existen normas para su uso como la ACI 522-R10 del año 2010. En el Perú se cuenta solo con tres normativas para guiar su uso, sin embargo, existen pocas investigaciones centradas en estudiar sus propiedades y desempeño.

Actualmente en el Perú se cuenta con normativas para calcular la densidad y vacíos en estados fresco y endurecido; así como la resistencia a abrasión e impacto del concreto permeable.

No obstante, para las demás propiedades no se reúnen los ensayos, métodos de diseño, recomendaciones y estándares del concreto permeable por lo tanto con las experiencias obtenidas por el desarrollo del presente trabajo se busca aportar a la implementación de nuevas normativas que se adapten a la realidad del país.

Por otro parte, se sabe que agregar ciertos porcentajes de agregado fino en concretos permeables mejora las características mecánicas entre ellas la resistencia a compresión y flexión del concreto, pero perjudica otras como la permeabilidad que es la principal característica del concreto permeable. En este sentido y ante la ausencia de alguna normativa sobre los límites en las cantidades de agregado fino que se deben usar en concreto permeable, la presente investigación busca determinar cuál es el porcentaje adecuado que permita tener un equilibrio de las propiedades mecánicas e hidráulicas.

Además, permite presentar como alternativa al concreto permeable para la evacuación de aguas de lluvias, pues existe la ausencia de un adecuado sistema de drenaje pluvial en la mayor parte de ciudades del país, en especial en la Región de Lambayeque cuya deficiencia se vio reflejada en el último fenómeno del Niño Costero del año 2017.

A ello se suma la alternativa sostenible que representa el uso de concreto permeable pues facilita el almacenamiento y reutilización del agua de lluvia para ser empleada en el riego de áreas verdes e incluso en el consumo humano mediante tratamiento previo.

Por otra parte, existe pocas investigaciones en la región orientadas a determinar las propiedades del agregado de la zona para ser empleados en la elaboración de concreto permeables, en relación a ello la presente tesis busca conocer las implicancias de usar agregado de la zona y verificar sus propiedades para ser empleado en la fabricación del concreto permeable contrastándolas con las normas nacionales e internacionales sobre el concreto permeable y nacionales sobre los requisitos de pavimentos rígidos de bajo tránsito.

En este sentido el presente trabajo es útil a la comunidad en general pues los gastos suscitados por la evacuación de las aguas pluviales y las afecciones derivadas de no hacerlo son cuantiosos. Además, interesa a las empresas cementeras y de aditivos pues favorece al desarrollo de una nueva línea en la industria del concreto prefabricado como sucede en México y Colombia.

Del estudio de la situación descrita en los párrafos anteriores, surge el planteamiento del siguiente problema ¿De qué forma influye la utilización de diferentes porcentajes de agregado fino y el uso del aditivo SikaCem Plastificante en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado fresco y endurecido? Para responder al problema de investigación se plantea la siguiente hipótesis: La adición de agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante a las mezclas de concreto permeable mejora sus propiedades mecánicas en estado fresco y endurecido. Es así que se esboza el objetivo general de determinar la influencia de usar diferentes porcentajes de agregado fino y el aditivo SikaCem Plastificante en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable. Así mismo se establecieron los siguientes objetivos específicos:

Determinar las propiedades del agregado fino y grueso empleado en la fabricación del concreto permeable.

Determinar las propiedades del concreto permeable en estado fresco: asentamiento, temperatura, densidad y contenido de aire.

Evaluar las propiedades mecánicas del concreto permeable en estado endurecido de acuerdo a los requisitos de compresión y flexión para ser usado como capa de rodadura de acuerdo a la norma C010 Pavimentos Urbanos.

Evaluar las propiedades hidráulicas del concreto permeable en estado endurecido de acuerdo a los requisitos de permeabilidad para afrontar intensidades de lluvia presentadas en el Fenómeno del Niño del año 1998.

II. Marco teórico

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. A nivel Local

J. W. Gonzáles Vásquez y D. J. Túllume Paiva, “Diseño de mezclas de concreto poroso para pavimentos de tránsito liviano”, Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo. Universidad Señor de Sipán, Pimentel, 2015.

En esta investigación se elaboraron 60 probetas y 20 vigas para medir las variables relación a/c , TMN de agregado grueso y la resistencia a compresión. En su estudio obtuvieron que la mezcla óptima de concreto permeable para pavimentos de tránsito liviano se obtenía con una relación agua/cemento de 0.25 y variando el TMN del agregado entre 3/8” y 3/4” con relaciones a/c de 0.25 a 0.30 para obtener mezclas aceptables [5].

La investigación anterior permite corroborar algunas recomendaciones e indicaciones dadas en la norma ACI 522-R y aporta a esta investigación con las experiencias obtenidas.

2.1.2. A nivel Nacional

A. X. Guizado Barrios y E. R. Curi Grados, “Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú”, Facultad de Ciencias e Ingenierías. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.

La siguiente investigación consiste en la elaboración de quince mezclas empleando proporciones de materiales sugeridas por ACI 522 teniendo como variables el contenido de vacíos, el tipo de agregado grueso y la relación agua/cemento; midiendo la resistencia a compresión, la resistencia a flexión y la capacidad de infiltración. En su estudio se constató la factibilidad de emplear concreto permeable como alternativa de drenaje pluvial y una variación del módulo de rotura de las probetas de concreto permeable entre el 16% y 22% de la resistencia a la compresión. También, constataron la necesidad de realizar verificaciones a los diseños de mezcla usando la norma ACI 522 pues se obtenían diferencias entre el porcentaje teórico de vacíos y el obtenido en el diseño debido a las características propias de cada agregado según la zona donde se obtenga como su capacidad de absorción [6].

Así, se toma como base esta investigación para la elaboración del permeámetro de carga simple sugerido en la norma ACI 522-R que permitirá medir el grado de infiltración de las muestras de concreto poroso.

Y. Paucar Curasma y F. W. Morales de la Cruz, “Influencia del agregado grueso de la cantera del río Ichu en el concreto permeable para pavimentos de bajo tránsito - f'c 175kg/cm²”, Facultad de Ciencias de Ingeniería. Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica, 2018.

Este trabajo estudia la influencia del huso granulométrico del agregado en la resistencia a compresión y permeabilidad con la finalidad de fabricar pavimentos de bajo tránsito con f'c 175kg/cm². En este trabajo se concluyó que para las características del agregado de la zona la piedra chancada de 3/8” es la que permite alcanzar resistencias más cercanas a las requeridas por los pavimentos de bajo tránsito y la piedra chancada de 3/4” brinda los mayores porcentajes permeabilidad. [7]

De ahí que esta investigación sirve como referencia para seleccionar el tamaño de la piedra a utilizar en el desarrollo de la tesis, además de aportar con el análisis del procedimiento de diseño de mezcla indicado en la norma ACI-522-R.

2.1.3. A nivel Internacional

D. H. Mora Villota “Propiedades Mecánicas y de Permeabilidad de Concreto Fabricado con Agregado Reciclado”, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2016.

Aborda las diferencias entre el concreto fabricado con agregado convencional y con diferentes porcentajes de agregado reciclado obtenidos de ladrillo de arcilla y concreto evaluando la resistencia a compresión, resistencia a flexión, permeabilidad, módulo de elasticidad en compresión, absorción y peso unitario [8].

Al respecto, esta investigación aporta con el desarrollo del método de diseño de concreto permeable y la implementación de ensayos aplicables al concreto permeable.

E. Cárdenas Gutiérrez, A. Albitzer Rodríguez y J Jaimes Jaramillo, “Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua”. Universidad Autónoma del Estado de México, México, 2016.

Su artículo analiza el uso de los concretos permeables en la infraestructura vial urbana revisando el diseño convencional por resistencia haciendo una crítica a este pues no atiende el aspecto básico de la preservación del agua a través de los pavimentos permeables. En este sentido plantea acciones para mejorar y ampliar la utilización del pavimento poroso como alternativa sustentable [9].

Por esta razón, la presente investigación sirve para justificar los beneficios del concreto permeable y el desarrollo de la presente tesis, aportando con las experiencias obtenidas durante su desarrollo.

H. A. Cardona Maldonado, “Propiedades Mecánicas y de filtración en hormigones permeables con cemento portland e hidráulicos”. Universidad San Francisco de Quito USFQ, Quito, 2017.

Esta investigación se centra en el estudio de las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable utilizando diferentes cementos presentes en el mercado ecuatoriano y precisó las propiedades que le confiere cada uno a las distintas mezclas analizadas [10].

Este trabajo se toma como referencia para seleccionar el tipo de cemento a utilizar durante el desarrollo de la presente investigación.

A. Allen Sparkman, “Pervious Concrete – 2016 Estate of Practice”. Tennessee Concrete Association, Tennessee, 2016.

La siguiente investigación realiza un análisis de las principales normativas aplicadas al concreto permeable en Estados Unidos, brindando algunos valores máximos en cuanto a los resultados previstos mediante la aplicación de las normativas. Estos valores máximos servirán como indicadores para comparar con los resultados obtenidos en esta investigación.

Así pues, para el ensayo de abrasión e impacto de especímenes de concreto poroso el porcentaje máximo de abrasión recomendado por el investigador es del 40%. Además, recomienda un grado de infiltración mínimo de 400 pulg/hora o 0.282 cm/s. [43]

2.2. Bases Teórico Científicas

2.2.1. Concreto Permeable

De manera similar al concreto convencional contiene cemento Portland, agua, aditivos, agregado grueso; sin embargo, presenta poco o nada de agregado fino dando como resultado un asentamiento mínimo y los suficientes vacíos para permitir que el aire y el agua pasen fácilmente de la superficie exterior a las capas subyacentes [11].

2.2.2. Materiales empleados en la elaboración de concreto permeable

A) Cemento Portland

Es un material conformado por la pulverización a altas temperaturas(1300C°-1450C°) de clinker con la adición de sílice, alúmina, óxido de calcio, óxido de hierro conformando una

pasta conglomerante capaz de endurecer en el agua y aire mediante la adición de cantidades apropiadas de agua [13].

Tabla 1 Porcentajes típicos de los componentes del cemento Portland

Oxido Componente	Porcentaje Típico	Abreviatura
CaO	61% - 67%	C
SiO ₂	20% - 27%	S
Al ₂ O ₃	4% - 7%	A
Fe ₂ O ₃	2% - 4%	F
SO ₃	1% - 3%	
MgO	1% - 5%	
K ₂ O y Na ₂ O	0.25% - 1.5%	

Fuente: [14]

Para el concreto permeable el cemento Portland debe cumplir con las normas ASTM C150/C150M, C595/C595M y C1157/C1157M. Se recomienda verificar mediante pruebas la compatibilidad cemento-mezcla para no tener problemas con el período de fraguado, la velocidad de aumento de la resistencia, la porosidad y la permeabilidad logrando proporcionar las propiedades idóneas para la colocación y los estados de servicio anticipados [15].



Figura 1 Almacenamiento del Cemento Tipo I

En la presente investigación se optó por la utilización de cemento Portland Tipo I para la elaboración de concreto permeable por brindar resistencia mecánica en todas las edades del concreto, así como no generar un elevado calor de hidratación durante el vaciado como es el caso del cemento Tipo II.

Así mismo, los cementos con adiciones especiales como el cemento Portland Tipo MS y el cemento Portland compuesto ICO presentan bajas resistencias iniciales y mayor grado de impermeabilidad, por lo cual se descartó su uso en la elaboración de concreto permeable.

B) Agregado Grueso

Es el agregado conservado en el tamiz normalizado 4.75mm (N°4) obtenido por la desintegración espontánea o mecánica de materiales pétreos, y que estén de acuerdo a los límites establecidos en la NTP 400.037. Puede estar conformado por grava, piedra chancada, concreto reciclado o la combinación de ellos. Además, aquellos concretos en contacto permanente con suelos húmedos o sensibles a la acción de la humedad no deberán contener agregados reactivos, pues originan una expansión excesiva del concreto [16].

Por otra parte, para concretos permeables se usan agregados de un solo tamaño o cuya variación sea entre 3/4 a 3/8 pulg (19 a 9.5mm). También se han obtenido buenos resultados usando agregados redondeados y triturados, de peso normal o liviano en tanto cumplan con los requisitos de las normas ASTM D448 y ASTM C33/C3M. Además, debe estar libre de recubrimientos, como polvo o arcilla, u otros químicos absorbidos que puedan afectar negativamente el enlace adhesivo de la pasta o la hidratación del cemento [15].



Figura 2 Almacenamiento de agregado grueso

En agregados gruesos de 3/4" a más, la pasta de cemento presenta mayor dificultad para cubrir la totalidad del agregado debido a la poca cantidad de agregado fino empleado en el diseño de concretos permeables. Por otra parte, la utilización de agregado gruesos de 3/8" o menos, origina que estas partículas se acomoden mejor en el concreto obstruyendo el sistema de poros del mismo.

En base a ello, se estudió el agregado grueso de 3/4" de las canteras Tres Tomas en el Distrito de Mesones Muro y La Victoria en el Distrito de Pátapo con el fin de buscar el agregado grueso que presente las propiedades adecuadas para elaborar concreto poroso.

C) Agregado Fino

Es aquel agregado, que pasa el tamiz 9.5mm (3/8 pulg) y queda retenido en el tamiz normalizado 74 μ m (N°200), y que está de acuerdo con los límites establecidos en la NTP 400.037. Puede estar conformado por arena natural, arena procesada o un porcentaje de ambas.

Tabla 2 Límites granulométricos del agregado fino

Tamiz	% que pasa
9.5 mm (3/8")	100
4.75 mm (N°4)	95 a 100
2.36 mm (N°8)	80 a 100
1.18 mm (N°16)	50 a 85
600 μ m (N°30)	25 a 60
300 μ m (N°50)	5 a 30
150 μ m (N°100)	0 a 10

Fuente: [16]

En el concreto permeable el contenido de agregado fino está limitado porque compromete la conectividad del sistema de poros. Sin embargo, pequeñas cantidades de agregado fino pueden aumentar la resistencia a la compresión y la densidad reduciendo el caudal de agua que atraviesa a la masa del concreto permeable [15].



Figura 3 Almacenamiento de agregado fino

D) Aditivos

Son compuestos orgánicos o inorgánicos añadidos al concreto permeable durante o después de formada la pasta para modificar de manera controlada algunas propiedades del proceso de absorción de agua, el desarrollo de la resistencia o incluso la estructura central del concreto [14].

Los aditivos reductores de agua de mediano o alto rango reducen la cantidad de agua necesaria en la mezcla de concreto en un 12% o más, a su vez logran una mejor dispersión del cemento. En consecuencia, se logra un crecimiento de la resistencia al reducir la proporción agua/cemento [6].

Los aditivos retardantes se utilizan en climas cálidos y mezclas rígidas como el concreto permeable. Estos sirven para fijar y dirigir la hidratación del cemento, además funcionan como lubricantes para facilitar la colocación del concreto en el encofrado mejorando el manejo y rendimiento en obra. Por el contrario, se pueden utilizar acelerantes si se vacía el concreto permeable en climas fríos [15].

En concretos permeables no se acostumbra a usar aditivos incorporadores de aire, pero se pueden usar en ambientes susceptibles al congelamiento y deshielo. Las investigaciones actuales sobre la resistencia al congelamiento y deshielo involucran el uso de un incorporador de aire obteniéndose buenos resultados en mezclas con alto contenido de cemento. Así mismo para aumentar la durabilidad en climas fríos se puede incorporar fibras de diversos materiales como plástico y vidrio [15].

En climas con mucho viento se crean tasas de alta evaporación reduciendo el tiempo en el que la mezcla puede ser colocada eficientemente y pueden afectar el fraguado del concreto, siendo útil el uso de un retardador de evaporación [15].



Figura 4 Aditivo SikaCem Plastificante

Con el fin de mejorar la resistencia mecánica del concreto permeable y su trabajabilidad, debido a que el concreto permeable tiene un slump cero; se optó por la utilización del aditivo reductor de agua “SikaCem Plastificante”. Este es un aditivo Súper Plastificante del Tipo D de la marca Sika, y de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante se empleó en dosis de 250 mL y 500 mL por bolsa de cemento.

E) Agua

Los requisitos de calidad del agua son los mismos del concreto común. Además, el concreto permeable debe tener una proporción baja de agua/cemento en el rango de 0.26 a 0.40 pues una porción exorbitante de agua puede conducir a un drenaje de la pasta y a la obstrucción del conjunto de poros [15].

2.2.3. Mezclado del concreto permeable

A continuación, se describe el proceso de mezclado de acuerdo a lo descrito en la norma NTP 339.183 y las experiencias recogidas en la investigación de Guizado y Curi.

- 1) Humedecer el trompo para evitar que robe agua a la mezcla.
- 2) Previo al encendido del trompo; añadir el agregado grueso, agregado fino y parte del agua de mezclado. Dejar rotar por espacio de un minuto con el fin de obtener una mezcla homogénea y lograr que el agregado adquiera la condición de saturado superficialmente seco.
- 3) Añadir el cemento y el agua con el aditivo SikaCem Plastificante disuelto en ella. Luego de que los todos los ingredientes se encuentran en la mezcladora dejar rotar por un espacio de 3 minutos.
- 4) Si bien la norma indica que se debe dejar reposar por espació de 3 minutos el concreto para evitar el falso fraguado, en el concreto permeable por ser una mezcla seca este fenómeno se presenta mucho antes como señala Guizado y Curi, por ello, el periodo de reposo dura solo 2 minuto.
- 5) Pasado el minuto de reposo, se realiza un mezclado final de 2 minutos con el fin de evitar el falso fraguado.



Figura 5 Mezclado del concreto permeable



Figura 6 Reposo de la mezcla de concreto

2.2.4. Aplicaciones

Se puede usar en una gran cantidad de casos siempre que no sea necesario el uso de refuerzo pues el riesgo de corrosión es alto por el sistema de poros en el concreto permeable [15].

Las aplicaciones más comunes son:

- Pavimento permeable en estacionamientos.
- Pavimentos rígidos de drenaje en áreas de locales comerciales.
- Pisos de invernaderos donde es necesario conservar el suelo libre de agua en reposo.
- En muros estructurales con requisitos de aislamiento térmico ligero.
- Paredes o pisos donde se desee mejorar las propiedades de absorción acústica.
- Pavimentos de avenidas, caminos, entrada de vehículos y aeropuertos.
- Superficie para parques y canchas de tenis.
- Pisos para aéreas de zoológicos y establos.
- Terraplenes de puentes.
- Cubiertas de piscinas.
- Estructuras de playas y malecones
- Plantas para tratar aguas negras.
- Sistema de conservación de energía solar.
- Revestimientos de pared para pozos de agua.
- Arrecifes artificiales donde el concreto imita a la estructura del arrecife.

2.2.5. Ventajas del concreto permeable

El concreto permeable sirve para controlar la escorrentía de aguas pluviales, además de ser un filtro para disminuir los contaminantes del agua de lluvia antes de ser almacenada o utilizada para riego u otra actividad. Por otra parte, incrementa el área disponible en estacionamientos al eliminar la necesidad del drenaje pluvial convencional. En cuanto al uso en pavimentos; reduce el deslizamiento provocado por el agua en superficies, disminuye el ruido originado por la interacción neumático-pavimentos y reduce los accidentes al eliminar el resplandor en las superficies de carreteras cuando están mojadas de noche [15].

Además, proporciona beneficios medioambientales pues favorece al ciclo del agua al ayudar a la recuperación de las aguas subterráneas y favorecer que el aire y agua lleguen a las raíces.

2.2.6. Desventajas del concreto permeable

La principal desventaja del concreto permeable para ser empleado como capa de rodadura, es que su uso está limitado al tránsito liviano, además, de requerir un tiempo de curado

extendido y prácticas de construcción especializadas. A ellos se suma, el cuidado especial a tener en cuenta cuando se construye sobre suelos expansivos o susceptibles a heladas y los problemas de fluidez de las mezclas [15].

2.2.7. Propiedades del concreto permeable es estado fresco

A) Trabajabilidad

Representa los inconvenientes para la fabricación, traslado, vaciado y compactación del concreto. Las circunstancias durante las fases del proceso constructivo condicionan la evaluación de la trabajabilidad. Así pues, depende de la pasta, la cantidad de agua y la proporción entre agregado grueso y fino, que origina en un caso ideal el escurrimiento natural o artificial de la masa. Así mismo, el método usado para cuantificar esta propiedad es el asentamiento con el cono Abrams o “Slump” [14].

En el caso del concreto permeable el Slump por lo general es cero, sin embargo, este valor no es el único que determina la trabajabilidad del concreto; pues esta también depende de la consistencia, la temperatura, y la homogeneidad del concreto.

B) Segregación

Se produce por la diferencia en las densidades de los componentes del concreto originando que las fracciones con gran masa descendan, sin embargo, la densidad de la pasta y agregados finos es inferior en un 20% que la de los agregados gruesos lo cual añadido a la viscosidad de la mezcla genera la suspensión del agregado en la matriz [14].

Este fenómeno produce bolsones de piedra, capas arenosas y cangrejeras; debiéndose a una inadecuada manipulación y colocación de la mezcla o cuando se vacía concreto de alturas mayores al 1/2 metro [13].

C) Exudación

Es el ascenso de una fracción del agua hasta la superficie por la decantación de sólidos. Este fenómeno depende del contenido de finos en los agregados y la finura del cemento, así pues, mientras más fino es el cemento y mayor es el porcentaje que pasa por la malla N°100, la exudación será inferior. Así mismo, la exudación es lesivo para el concreto pues reduce la resistencia al incrementar la proporción agua/cemento [14].

El concreto permeable por lo general presenta relaciones agua/cemento bajas en el orden de 0.27 a 0.33 y por tanto es un concreto seco que no presenta el fenómeno de segregación como en el concreto convencional. [15]

D) Contracción

La contracción intrínseca se produce por la disminución del volumen de agua por combinación entre los elementos del concreto y es un proceso definitivo. Además, encontramos la contracción por secado causante del mayor porcentaje de fisuras en el concreto y ocurre en estado plástico o endurecido si se produce una disminución de agua en la mezcla siendo un proceso reversible [14].

2.2.8. Propiedades del concreto permeable es estado endurecido

A) Resistencia a la compresión

Esta propiedad está influenciada por los distintos porcentajes de componentes en la mezcla y la energía usada en la compactación durante el vaciado del concreto permeable. En relación a ello, es posible obtener altas resistencias a la compresión, pero ello solo se consigue con una reducción en el contenido de vacíos afectando el fin del concreto. Por otra parte, la resistencia a la compresión aumenta con la disminución del tamaño del agregado y la incorporación de aditivos o polímeros para una misma gradación de agregado [15].

Así mismo, una alta relación agua/cemento puede originar que la pasta discurra desde el agregado, ocupando el sistema de poros y comprometiendo su función. Una baja relación agua/cemento da como resultado una disminución en la adhesión entre los componentes del agregado y dificultades en la colocación. En este sentido, las investigaciones previas han demostrado que contenidos de agua/cemento de 0.26 a 0.45 dan buenos resultados. Además, se puede añadir agregado fino en pequeñas proporciones para aumentar la resistencia del concreto permeable, pero esto compromete a la porosidad del concreto [18].

Una cantidad de pasta excesiva puede generar una estructura de vacíos llena. Un contenido de pasta escaso puede generar una capa de pasta reducida alrededor del agregado y una resistencia a la compresión reducida. El contenido más adecuado de material cementoso depende en gran medida del tamaño y la gradación del agregado. Otro factor que influye es el espesor de la pasta alrededor del agregado el cual depende del tamaño del agregado, la cantidad de cemento y la proporción agua/cemento [15].

B) Resistencia a la flexión

De igual forma que en concretos normales, la resistencia a flexión es baja en comparación a la resistencia a compresión. Este parámetro se utiliza para diseñar estructuras como los pavimentos rígidos sometidos a esfuerzos por el paso de vehículos y medir la resistencia a las

variaciones de temperatura originando la tensión en una parte del pavimento y la compresión en otra, pudiendo invertirse los esfuerzos [13].

Los estudios en concreto permeable demuestran un incremento en la resistencia a flexión mediante la adición de pequeñas cantidades de arena de aproximadamente el 5% en relación al volumen de la mezcla y la adición de polímeros. Además, en los concretos permeable existen una equivalencia entre la resistencia a compresión y flexión. Las investigaciones demuestran que la ecuación más cercana en cuantos a la relación de ambas resistencias es la presentada por Ahmad y Shah en 1985 [15].

Ecuación 1 Resistencia a la flexión en función de la resistencia a compresión

$$f'_r = 2.3xf'c^{\frac{2}{3}}$$

Fuente: [15]

f'_r : Resistencia a flexión (lb/in²)

f'_c : Resistencia a compresión (lb/in²)



Figura 7 Compactación de las vigas

Fuente: [6]

C) Permeabilidad

La permeabilidad del agua en el concreto se ve influenciada por el tamaño de los poros del mismo. Los poros de mayor tamaño reducen la obstrucción del sistema de poros y se obtienen

usando agregado de mayor tamaño. Así pues; se aumenta el tamaño del poro y por tanto la permeabilidad al reemplazar agregado de menor tamaño con un porcentaje creciente del agregado de mayor tamaño, debido a que las partículas gruesas al no encajar en el vacío generado por las partículas finas no terminan obstruyendo el sistema de poros.

Además del tamaño del agregado, la proporción cemento/agregado influyen de forma significativa en la porosidad y la conectividad de los poros. Por otra parte, se necesita una porosidad mínima del 15% para lograr una infiltración significativa [15].

En relación a esto, se sabe por los registros del ultimo Meganiño del año 1997/1998 que la intensidad de lluvia puede llegar a dar valores máximos de hasta 91.6 mm/h en la zona Norte del país. Además, por investigaciones previas se conoce que se puede obtener una permeabilidad entre 0.67 cm/s a 3.19 cm/s para porcentajes de vacíos entre 15% y 25%; satisfaciendo ampliamente la tasa de infiltración solicitada. [6]

Por ello; se espera para los porcentajes de vacíos de 27.5% adoptados en la presente investigación se logre satisfacer la demanda de 91.6 mm/h y en combinación con el aditivo SikaCem Plastificante se alcance las características de resistencia y trabajabilidad adecuadas.

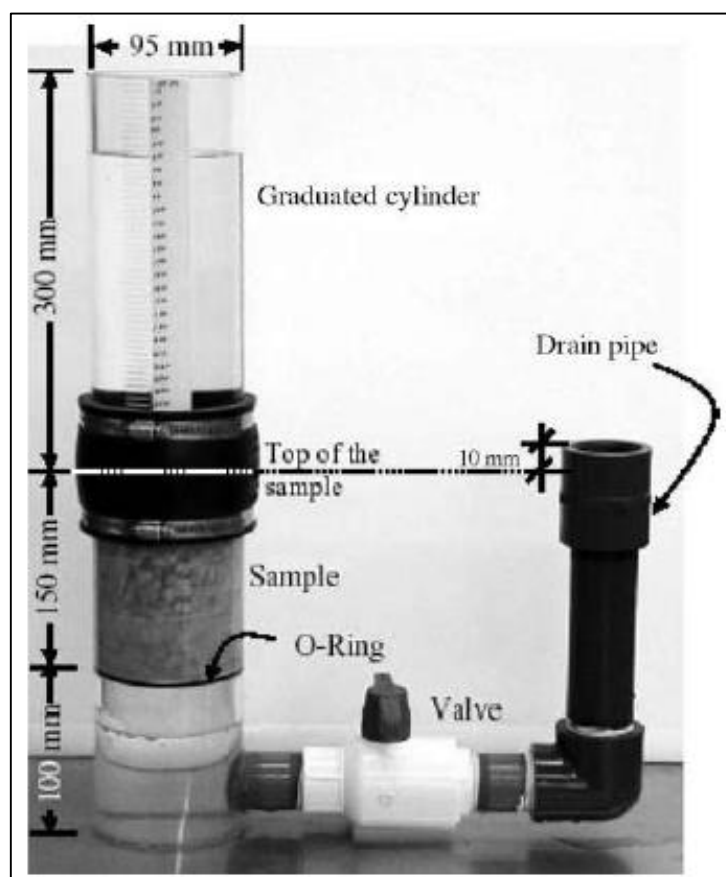


Figura 8 Permeámetro de carga constante

Fuente: [6]

D) Resistencia del concreto permeable a la degradación por impacto y abrasión

La resistencia a la abrasión o desgaste está influenciada por la resistencia a la compresión, que a su vez depende de la relación agua/cemento y el curado del concreto.

Otro factor, es la dureza de agregado y la forma del mismo. En la mayoría de casos las superficies de concretos permeables pierdan una cierta cantidad de agregado durante los primeros días de funcionamiento, desapareciendo este problema en las semanas siguientes. Además, este inconveniente puede ser superado con una adecuada compactación y técnicas de curado. [1]

La abrasión del concreto poroso trae como consecuencia el desprendimiento del mismo. Una de las causas del desprendimiento de concreto es la consistencia fluida de la pasta del concreto, de tal manera si la pasta es demasiado fluida no lograra envolver la totalidad del agregado aumentando la probabilidad de fallar por desprendimiento.

Por otra parte, la pasta poco fluida dificulta la trabajabilidad del concreto permeable ocasionando zonas con agregado expuesto a la intemperie donde se produce o facilita la abrasión de las estructuras de concreto poroso.

Además, una deficiente compactación no permite una adecuada unión de la pasta y el agregado favoreciendo la abrasión del concreto poroso al generarse una masa poco homogénea y menos resistente a acciones mecánicas.

En consecuencia, se deben tener en cuenta todos estos factores al momento de preparar concreto permeable en laboratorio o campo; pues la falla más común de las estructuras de concreto poroso es el desprendimiento por abrasión.

2.2.9. Datos preliminares para el diseño de mezcla del concreto permeable

Al igual que en los métodos de dosificación para concreto convencional como el Método ACI, el Método de Walker y el Método del Módulo de Finura de la Combinación de Agregado; para el Método de Dosificación del Concreto Permeable se necesita conocer previamente las características físicas de los componentes del mismo. Además, será necesario tener en cuenta las solicitaciones requeridas del concreto poroso como resistencia a la compresión, resistencia a flexión y la capacidad de filtración de acuerdo a la intensidad de agua que necesite evacuar durante la ocurrencia de una tormenta.

A) Datos preliminares del Agregado Grueso

En cuanto al agregado grueso, necesitamos realizar estudios para conocer el peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico, contenido de humedad, porcentaje de

absorción. Adicionalmente, es de suma importancia conocer la granulometría del mismo pues nos permitirá obtener el huso granulométrico del agregado y con ello el factor b/b_0 (Volumen seco de agregado grueso compactado por volumen unitario de concreto) necesario para nuestro diseño y brindado por las tablas de la ACI 522-R. [15]

B) Datos preliminares del Agregado Fino

Al igual que en el agregado fino, necesitamos realizar estudios para conocer el peso unitario suelto, peso unitario compactado, peso específico, contenido de humedad, porcentaje de absorción. Además, el volumen del agregado fino se expresa como porcentaje del volumen global del agregado denotado por la relación a/A (Volumen de agregado fino/Volumen de Agregado Global).

La relación a/A para el caso de la presente investigación corresponde un dato de entrada pues se busca conocer como varían las propiedades físicas del concreto permeable usando diferentes porcentajes de agregado fino, para otros casos se puede determinar mediante tablas; siendo los valores no muy confiables pues estas tablas fueron elaboradas con las características de los agregados del país de procedencia de la norma ACI 522-R. [15]

C) Datos preliminares del Cemento

En el caso de este componente es necesario conocer su peso específico para poder determinar el volumen que ocuparan dentro del concreto poroso. En cuanto al cemento su peso específico lo brinda la empresa productora del mismo. Así pues, en la presente investigación se utilizó cemento Portland Tipo I de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A. con un peso específico de 3.10 g/cm^3 . [25]

D) Datos preliminares del Aditivo

Al igual que en el cemento necesitamos conocer la densidad del aditivo, así como las propiedades que modifica del concreto. Para esta investigación se usó un aditivo reductor de agua, el cual permite mejorar la trabajabilidad del concreto poroso y aumentar su resistencia. El aditivo usado fue el plastificante de cementos “SikaCem Plastificante” con una densidad de 1.2 kg/L , el cual tiene la capacidad de reducir el contenido de agua en 10% y aumentar las resistencias mecánicas de 10% a 15%. [26]

El aditivo SikaCem Plastificante se empleó como plastificante en dosis de 250 mL por bolsa de cemento y como superplastificante en dosis de 500 mL por bolsa de cemento de acuerdo a las especificaciones técnicas del fabricante.

E) Resistencia a la compresión requerida para el diseño

La resistencia a compresión requerida puede ser estimada mediante el siguiente gráfico.

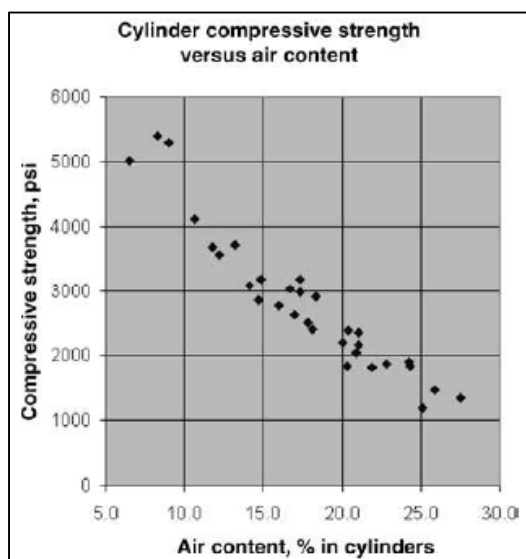


Figura 9 Relación entre la resistencia a compresión y el contenido de aire

Fuente: [15]

En la presente investigación se buscó determinar cómo se relaciona la resistencia a la compresión con el aumento de agregado fino; teniendo como propósito alcanzar la resistencia mínima a compresión de 175 kg/cm² requerida en veredas, aceras, ciclo vías y pases peatonales definidos como pavimentos especiales en la norma CE 010 Pavimentos Urbanos. [27]

Tabla 3 Requisitos para pavimentos especiales según Norma CE 010

Tipo de Pavimento Elemento		Aceras o Veredas	Pasajes Peatonales	Ciclo vías
		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
Subrasante		Espesor compactado: ≥ 150 mm		
Base		CBR ≥ 30 %		CBR ≥ 60 %
Espesor de la capa de rodadura	Asfáltico	≥ 30 mm		
	Concreto de cemento Portland	≥ 100 mm		
	Adoquines	≥ 40 mm (Se deberán apoyar sobre una cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm)		
Material	Asfáltico	Concreto asfáltico*		
	Concreto de cemento Portland	$f_c \geq 17,5$ MPa (175 kg/cm ²)		
	Adoquines	$f_c \geq 32$ MPa (320 kg/cm ²)	NR **	

Fuente: [6]

F) Resistencia a la flexión requerida para el diseño

Si bien la norma ACI 522-R brinda la Ecuación 1 para relacionar la resistencia a compresión con la resistencia a flexión, esta resulta no ser del todo precisa como se observó en investigaciones previas; por ello resulta recomendable determinar la resistencia a flexión mediante ensayos de laboratorio.

La norma CE 010 no brinda un valor mínimo requerido de resistencia a flexión para pavimentos especiales: veredas, ciclo vías o pases peatonales.

Sin embargo, para pavimentos urbanos de vías locales, vías colectoras, vías arteriales y vías expresas la resistencia mínima a flexión es de 34 kg/cm², valor que será contrastado mediante los ensayos realizados a las mezclas de concreto poroso en el presente estudio. [27]

Tabla 4 Requisitos para pavimentos urbanos según Norma CE 010

Tipo de Pavimento		Flexible	Rígido	Adoquines
Capa de Subrasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Capa de Subbase		CBR ≥ 40 % 100% Compactación Proctor Modificado	CBR ≥ 30 % 100% compactación Proctor Modificado	
Capa de Base		CBR ≥ 80 % 100% Compactación Proctor Modificado	NA	CBR ≥ 80% 100% compactación Proctor Modificado
Riego de Imprimación/ Capa de Apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	NA	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	CA ≥ 50 mm	CH ≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	CA ≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	CA ≥ 70 mm	NR	
	Vías expresas	CA ≥ 80 mm	CH > 200 mm	NR
Resistencia Mínima	Vías locales	NA	MR ≥ 3,4 MPa (34 kg/cm ²)*	f _c ≥ 38 MPa (380 kg/cm ²)
	Vías colectoras	NA	MR ≥ 4,5 MPa (45 kg/cm ²)*	
	Vías arteriales	NA	MR ≥ 4,5 MPa (45 kg/cm ²)*	
	Vías expresas	NA	MR ≥ 4,5 MPa (45 kg/cm ²)*	

Fuente: [6]

G) Capacidad de filtración requerida para el diseño

La capacidad de filtración solicitada en concretos permeables depende del uso dado al mismo, en el caso de este estudio se toma como referencia la intensidad de lluvia suscitada en el fenómeno del Meganiño del año 1998 en la Costa Norte del Perú, el cual alcanzo una intensidad de lluvia de 91.6 mm/h según datos de SENAMHI. [6]

Para satisfacer, esta demanda se recurre a tablas bridadas por la norma ACI 522-R que relacionan la capacidad de filtración del concreto poroso con el contenido de vacíos del mismos, así mismo la norma brinda el método de ensayo para determinar la permeabilidad del concreto poroso mediante un permeámetro de carga constante simulando el mismo ensayo empleado para determinar la capacidad de infiltración de suelo gravosos.

2.2.10. Procedimiento para el diseño de mezcla según la norma ACI-522 R

El procedimiento para determinar el contenido de los componentes del concreto permeable está basado en las propiedades físicas de estos y en las tablas brindadas por la norma ACI-522R.

Las tablas se obtuvieron mediante ensayos de prueba y error en laboratorios; y en muchos casos necesitan ser contrastadas mediante ensayos a los agregados propios de cada zona.

PASO 1: Obtención del Volumen del Agregado Grueso

El primer paso es la determinación del volumen del agregado grueso tomando como base la dosificación para un metro cubico de concreto.

Para ello utilizamos la Tabla 5, la cual es una adaptación de la Tabla 6.1 de la norma ACI 522-R, en la cual se deben tener como datos de entrada el volumen de agregado fino respecto al volumen de agregado global (a/A) que se usara en nuestro diseño y el huso granulométrico al cual pertenece nuestro agregado. Con estos datos se obtiene la relación b/bo (volumen seco de agregado grueso compactado por volumen unitario de concreto) utilizada para obtener el peso y volumen que ocupa el agregado grueso en el volumen de diseño (1 m³ por lo general).

Ecuación 2 Peso del agregado grueso

$P.S_{A.G} = P.U.C.S_{A.G} \times \frac{b}{b_o} \times V$	$V.S_{A.G} = \frac{P.S_{A.G}}{p.e_{A.G} \times 1000}$
---	---

Fuente: [6]

- P.S_{A.G}: Peso del agregado grueso seco en kg.
- P.U..C.S_{A.G}: Peso unitario compactado del agregado grueso seco en kg/m³.
- b/bo: Volumen seco de agregado grueso compactado por volumen unitario de concreto (adimensional).
- V: Volumen de diseño en m³. (por lo general se diseña para un 1m³)
- V.S_{A.G}: Volumen del agregado grueso seco en m³.
- p.e_{A.G}: Peso específico del agregado grueso seco en g/cm³.

Tabla 5 Valor efectivo de b/bo

Porcentaje de Agregado fino a/A	b/bo	
	Huso No 8	Huso No 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Fuente: [15]

En el caso de nuestra investigación, los valores b/bo correspondientes a porcentajes de 5% y 15% de agregado fino se interpolaron de la tabla anterior.

PASO 2: Obtención del Porcentajes de Vacíos Teórico

El porcentaje teórico de vacíos mínimo se obtiene con la figura 11, que corresponde al grafico 5.10 de la norma ACI-522R. En él, necesitamos como dato de entrada la capacidad de filtración requerida para nuestro concreto.

Como se mencionó líneas arriba la capacidad de filtración para este estudio es de 91.6 mm/h pues es la intensidad de lluvia presentada durante el fenómeno del Meganiño suscitado en el año de 1998 según datos de SENAMHI.

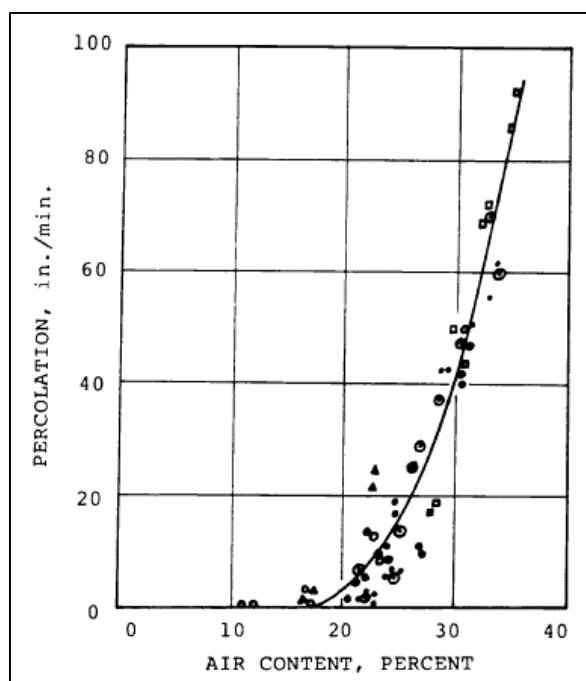


Figura 10 Relación entre el contenido de aire y la capacidad de filtración

Fuente: [15]

Esta tabla contiene datos de percolación en unidades inglesas por los que es necesario convertir nuestra capacidad de filtración a dichas unidades para poder emplear la tabla.

$$91.6 \frac{\text{mm}}{\text{h}} \times \frac{1\text{h}}{60\text{min}} \times \frac{1\text{ in}}{25.4\text{ mm}} = 0.06 \frac{\text{in}}{\text{min}}$$

Como podemos observar, la capacidad de filtración requerida es muy baja y bastaría con un contenido de aire del 11%, sin embargo, la norma ACI-522R indica la necesidad de contar con un contenido de aire mínimo del 15% para asegurar una adecuada conexión del sistema de poros del concreto y ser considerado como concreto permeable.

Además, se debe señalar que la capacidad de filtración solicitada en la ciudad de Chiclayo para un pavimento permeable está muy por debajo de la requerida en las ciudades de Estados Unidos de donde procede la norma y la tabla en cuestión; en donde se soportan eventos extremos como las tormentas.

Por otra parte, si bien el contenido mínimo de vacíos por los requisitos de infiltración es 15%; este valor no se alcanza cuando se utiliza agregados del Huso 67 y relaciones bajas de agua/cemento. Por ello, la norma ACI 522-R de manera adicional brinda la siguiente tabla, donde vincula el contenido de vacíos con la relación agua/cemento utilizada.

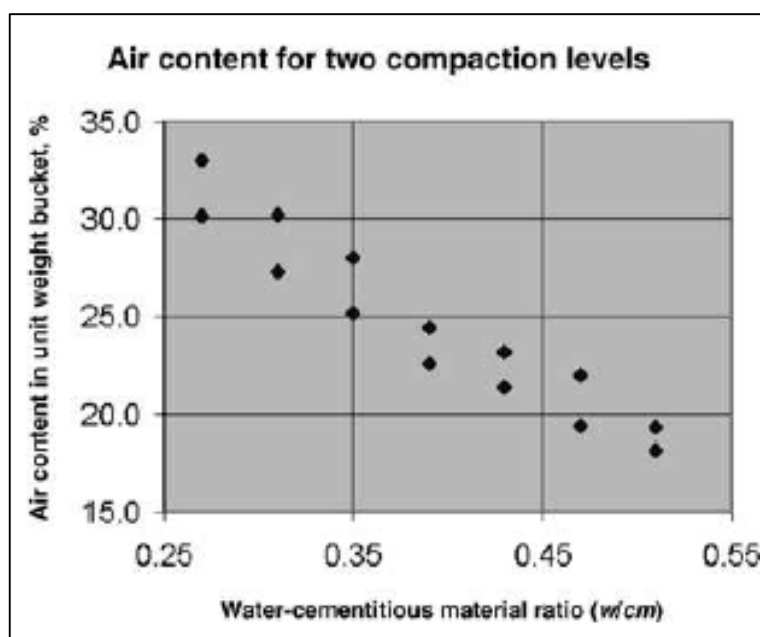


Figura 11 Variación del contenido de aire y la relación agua/cemento

Fuente: [15]

En los diseños de mezcla de la presente investigación se empleó el gráfico anterior para determinar el contenido teórico de vacíos inicial y mediante el método gravimétrico descrito en la norma NTP 339.230 se obtuvo el contenido real de vacíos y densidad para una tanda de prueba por cada diseño.

A continuación, de manera iterativa se volvió a realizar el diseño con el contenido de vacíos obtenido en la tanda de prueba; obteniéndose finalmente variaciones entre los contenidos teóricos y reales de vacíos inferiores al 1%.

PASO 3: Cálculo del Volumen de la Pasta

Una vez definido el contenido de vacíos en el paso anterior, se procede a calcular el volumen mínimo de la pasta dentro del metro cubico del concreto. Para ello, el volumen mínimo de la pasta se obtiene con la figura 13, que corresponde al grafico 6.3 de la norma ACI-522R, en el cual necesitamos como dato de entrada el porcentaje teórico de vacíos y el grado de compactación del concreto poroso.

La primera curva de la Figura 13 denomina well-compacted, corresponde a un concreto compactado en 3 capas, golpeando 25 veces en cada capa con una varilla lisa. [18]

La segunda curva de la Figura 13 denominada lightly-compacted, corresponde a un concreto compactado en 2 capas, golpeando 5 veces en cada capa con pisón de 5 libras. [18]

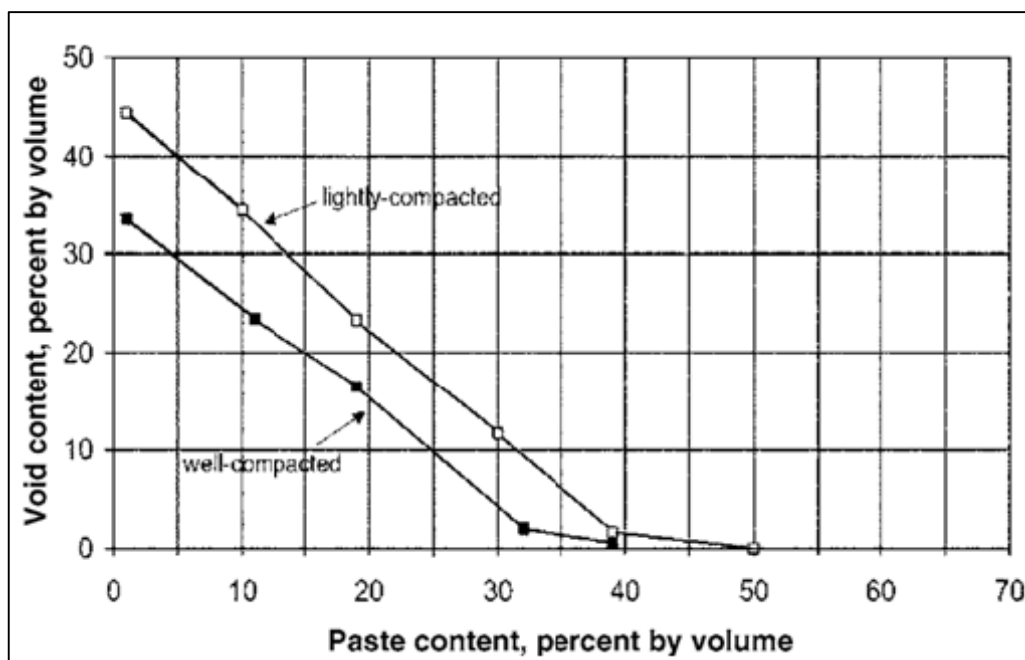


Figura 12 Relación entre el volumen de pasta y el volumen de aire

Fuente: [15]

Para nuestro caso, se optó por adoptar el caso más crítico el cual corresponde a un grado de compactación ligero, pues nada garantiza que durante la construcción del concreto permeable se pueda obtener la compactación adecuada, sobre todo por la poca difusión del modo de compactación del concreto poroso y la falta de maquinarias para compactar el concreto permeable. [15]

Los contenidos de pasta obtenidos por las siguientes tablas son mínimos y en algunos casos se deberán aumentar al final del diseño para lograr cubrir el metro cubico de diseño, ello debido a las características físicas de los agregados de cada zona, como su peso unitario, contenido de humedad y grado de absorción.

PASO 4: Cálculo del Peso y Volumen del Cemento

Una vez conocido el volumen de pasta y habiendo definido la relación agua/cemento (a/c) se puede estimar el contenido de cemento en el volumen de concreto. Para ello, se debe seguir la recomendación de la norma ACI-522R, en donde señala que el rango de la relación agua/cemento puede variar entre 0.27 y 0.40.

En esta tesis, se realizaron mezclas de prueba para determinar la relación agua/cemento adecuada a los agregados y demás componentes del concreto.

Ecuación 3 Cálculo del peso y volumen del cemento

$V_p = V_c + V_a$	$V_p = \frac{P_c}{p.e_c \times 1000} + \frac{P_a}{D_a}$
$P_c = \frac{V_p}{\frac{1}{p.e_c} + a/c} \times 1000$	$V_c = \frac{P_c}{p.e_c \times 1000}$

Fuente: [6]

Variables utilizadas	
<ul style="list-style-type: none"> - V_p: Volumen de la pasta en m³. - V_c: Volumen del cemento en m³. - V_a: Volumen del agua en m³. - P_c: Peso del cemento en kg 	<ul style="list-style-type: none"> - p.e.c: Peso específico del cemento en g/cm³. - a/c: Relación agua/cemento (adimensional). - D_a: Densidad del agua en kg/m³. - P_a: Peso del agua en kg.

PASO 5: Cálculo del Peso y Volumen del Agua

Una vez calculado el peso del cemento y con la relación agua/cemento definida se procede a calcular el peso del agua en el metro cubico de concreto poroso. Con el peso del agua y la densidad de la misma calculamos el volumen del agua en el metro cubico de concreto.

Ecuación 4 Cálculo del peso y volumen del agua

$P_a = P_c \times a/c$	$V_a = \frac{P_a}{D_a}$
------------------------	-------------------------

Fuente: [6]

Las variables empleadas en estas ecuaciones fueron descritas en el Paso 4.

PASO 6: Cálculo del Peso y Volumen del Agregado Fino

Para calcular el peso y volumen del agregado fino, es necesario contar con el volumen del agregado grueso calculado en el primer paso y con la relación a/A (agregado fino/agregado global). En la presente tesis, las relaciones a/A fueron definidas con el fin de observar las propiedades del concreto permeable a medida que aumenta la cantidad de agregado fino en el mismo.

Ecuación 5 Volumen de agregado fino en el concreto poroso

$V.S_{A,F} = V.S_{A,G} \times \frac{a/A}{1 - a/A}$	$P.S_{A,F} = V.S_{A,F} \times P.U.C.S_{A,F}$
--	--

Fuente: [6]

- $V.S_{A,F}$: Volumen del agregado fino seco en m^3 .
- a/A : Relación entre el volumen de agregado fino y volumen del agregado global (adimensional).
- $P.S_{A,F}$: Peso del agregado fino seco en kg.
- $P.U.C.S_{A,F}$: Peso unitario compactado del agregado fino seco en kg/m^3 .

PASO 7: Cálculo del Peso y Volumen del aditivo

La densidad del aditivo a utilizar será determinada por el fabricante y nos servirá para determinar el volumen ocupado del aditivo dentro del concreto poroso. El aditivo SikaCem Plastificante usado en la presente tesis tiene una densidad de $1200 kg/m^3$.

En cuanto a la cantidad del aditivo a usar, esta se basará en las especificaciones técnicas del fabricante. Para nuestro caso, se recomienda usar como máximo 500 mL por bolsa de cemento. En base a ello se decidió mantener fija la cantidad de cemento reduciéndose la cantidad de agua en 5% y 10% cuando se emplea en dosis de 250 mL y 500 mL por bolsa de cemento respectivamente; para aumentar la resistencia mecánica del concreto en porcentajes que serán determinados por los ensayos de resistencia y permeabilidad.

En relación a ello, se obtuvieron formularon mezclas que no contaron con la adición de aditivo como es el caso de las mezclas M-1, M-4, M-7, M-10 y M-13 para usarlos como

comparación frente a las mezclas que sí tuvieron aditivo como son las mezclas M-2, M-3, M-5, M-6, M-8, M-9, M-11, M-12, M-14 y M-15.

Ecuación 6 Cálculo del peso del aditivo

$P_{ad} = V_{ad} \times D_{ad}$	$Ad = \frac{P_{ad}}{P_c} * 100\%$
---------------------------------	-----------------------------------

- P_{ad} : Peso del aditivo en kg.
- V_{ad} : Volumen del aditivo en m³
- D_{ad} : Densidad del aditivo en kg/m³
- Ad: Relación entre el peso del aditivo y el peso del cemento en %.

PASO 8 y 9: Resumen de volúmenes secos y corrección por humedad

Se realiza un resumen de los pesos y volúmenes de los componentes del concreto permeable calculados en los pasos anteriores. Se debe tener en cuenta que los agregados fueron analizados en estado seco, por ello, debemos calcular el aporte al agua de diseño debido a las características físicas de los agregados gruesos y finos como el contenido de humedad y porcentaje de absorción.

Por ello, se debe realizar una corrección por humedad de los agregados asumiendo que estos estarán en estado saturado durante la preparación del concreto.

Ecuación 7 Cálculo de pesos húmedos en los agregados

$P. W_{A.G} = \left(1 + \frac{W_{A.G}}{100}\right) \times P. S_{A.G}$	$P. W_{A.F} = \left(1 + \frac{W_{A.F}}{100}\right) \times P. S_{A.F}$
---	---

Fuente: [13]

Ecuación 8 Humedad superficial del agregado grueso y fino

$W. S_{A.G} = W_{A.G} - A_{A.G}$	$W. S_{A.F} = W_{A.F} - A_{A.F}$
----------------------------------	----------------------------------

Fuente: [13]

Ecuación 9 Aporte de humedad del agregado grueso y fino

$A. W_{A.G} = W. S_{A.G} \times P. W_{A.G}$	$A. W_{A.F} = W. S_{A.F} \times P. W_{A.F}$
---	---

Fuente: [13]

Ecuación 10 Aporte de humedad del agregado global y agua efectiva

$P_{a.e} = P_a - (A.W_{A.G} + A.W_{A.F})$	$V_{a.e} = \frac{P_{a.e}}{D_a}$
---	---------------------------------

Fuente: [13]

Ecuación 11 Volúmenes húmedos del agregado grueso y fino

$V.W_{A.G} = \frac{P.W_{A.G}}{p.e.SSS_{A.G} \times 1000}$	$V.W_{A.F} = \frac{P.W_{A.F}}{p.e.SSS_{A.F} \times 1000}$
---	---

Fuente: [13]

Variables utilizadas	
<ul style="list-style-type: none"> - P.W_{A.G}: Peso del agregado grueso húmedo en kg. - W_{A.G}: Humedad del agregado grueso en %. - P.W_{A.F}: Peso del agregado fino húmedo en kg. - W_{A.F}: Humedad del agregado fino en %. - W.S_{A.G}: Humedad superficial del agregado grueso en %. - A_{A.G}: Absorción del agregado grueso en %. - V.W_{A.G}: Volumen del agregado grueso húmedo en m³. - p.e.SSS_{A.F}: Peso específico SSS del agregado fino en g/cm³. 	<ul style="list-style-type: none"> - W.S_{A.F}: Humedad superficial del agregado fino en %. - A_{A.F}: Absorción del agregado fino en %. - A.W_{A.G}: Aporte de humedad del agregado grueso en kg. - A.W_{A.F}: Aporte de humedad del agregado fino en kg. - P_{a.e}: Peso del agua efectiva en kg. - V.W_{A.F}: Volumen del agregado fino húmedo en m³. - p.e.SSS_{A.G}: Peso específico SSS del agregado grueso en g/cm³. - V_{a.e}: Volumen del agua efectiva en m³.

Finalmente, el agua efectiva corresponde a la cantidad de agua que se utilizara en la preparación del concreto permeable.

PASO 10: Resumen de volúmenes húmedos y verificación del volumen del concreto

Se debe verificar que la suma de volúmenes de los componentes del concreto corresponda a la unidad volumétrica de diseño, por ello, se hace un resumen de los volúmenes y pesos. Para los agregados, se tomará su peso húmedo y el volumen será calculado con su peso específico saturado superficialmente seco.

En muchos casos, la suma de volúmenes parciales de cada componente no logra completar el metro cubico de concreto y en otros lo excede, debido a las características físicas propias de los agregados según la zona de procedencia como son peso unitario, contenido de humedad y porcentaje de absorción. Por lo tanto, la norma ACI-522 R recomienda aumentar el contenido de pasta o disminuir el volumen de agregados para lograr el metro cubico de concreto según sea necesario.

Ecuación 12 Verificación del volumen de los componentes del concreto

$$V_{e/d} = 1\text{m}^3 - V \cdot W_{A.G} + V \cdot W_{A.F} + V_c + V_{a.e} + V_{ad}$$

- $V_{e/d}$: Volumen de exceso o déficit del concreto permeable en m³.

PASO 17: Corrección del contenido de los materiales del concreto

Si la suma de las cantidades de los componentes del concreto permeable es mayor al volumen teórico de diseño, existirá un exceso de volumen. Este exceso deber ser corregido eliminando una parte del volumen global de los agregados.

Por el contrario, si la suma de las cantidades de los componentes del concreto permeable es menor al volumen teórico de diseño, existirá un déficit de volumen. Este déficit deber ser corregido aumentando el volumen de la pasta. Al aumentar el volumen de la pasta, se incrementará la cantidad de cemento y, por tanto, el volumen del aditivo.

Ecuación 13 Distribución del volumen de exceso o déficit

$$V'_p + V'_{ad} = \left(\frac{X}{100}\right) x V_{e/d}$$

$$V'_{a.g} = \left(\frac{100 - X}{100}\right) x V_{e/d}$$

- V'_p : Volumen a disminuir o aumentar de la pasta en m³.

- V'_{ad} : Volumen a disminuir o aumentar del aditivo en m³.

- $V \cdot W'_{a.g}$: Volumen a disminuir o aumentar del agregado global húmedo en m³

El valor de X(%) será 100 cuando exista un deficit de volumen y se busque que este sea cubierto por la pasta. Por otro lado, sera 0 cuando existe un exceso de volumen y se busque que este sobrante sea reducido del volumente de los agregado.

PASO 12 al 17: Pesos y volúmenes adicionales de los materiales

Una vez definido la forma de distribución del volumen de exceso o deficit, se procede a calcular los volúmenes y pesos adicionales de todos los componentes del concreto. La

deducción de las siguientes fórmulas esta basada en la teoría de volúmenes absolutos; y en las relaciones de densidad, peso y peso específico de cada componente.

Ecuación 14 Peso y volumen adicional del cemento

$P'_c = \frac{V'_p + V'_{ad}}{\frac{Ad}{100 * D_{ad}} + \frac{1}{p.e_c \times 1000} + \frac{a/c}{1000}}$	$V'_c = \frac{P'_c}{p.e_c \times 1000}$
--	---

- P'_c: Peso a disminuir o aumentar del cemento en kg.
- V'_c: Volumen a disminuir o aumentar del cemento en m³.

Ecuación 15 Peso y volumen adicional del agua

$P'_{ae} = P'_c \times a/c$	$V'_{ae} = \frac{P'_{ae}}{D_a}$
-----------------------------	---------------------------------

- P'_{ae}: Peso a disminuir o aumentar del agua efectiva en kg.
- V'_{ae}: Volumen a disminuir o aumentar del agua efectiva en m³.

Ecuación 16 Peso y volumen adicional del agua

$P'_{ad} = \frac{Ad}{100} \times P'_c$	$V'_{ad} = \frac{P'_{ad}}{D_{ad}}$
--	------------------------------------

- P'_{ad}: Peso a disminuir o aumentar del aditivo en kg.
- V'_{ad}: Volumen a disminuir o aumentar del aditivo en m³.

Ecuación 17 Peso y volumen adicional del agregado grueso

$V.W'_{A.G} = (V.W'_{a.g} + V.W_{A.G} + V.W_{A.F}) \times (1 - a/A) - V.W_{A.G}$
$P.W'_{A.G} = V.W'_{A.G} \times p.e_{SSS_{A.G}} \times 1000$

- V.W'_{A.G}: Volumen a disminuir o aumentar del agregado grueso húmedo en m³.
- P.W'_{A.G}: Peso a disminuir o aumentar del agregado grueso húmedo en kg.

Ecuación 18 Peso y volumen adicional del agregado fino

$V.W'_{A.F} = V.W'_{a.g} - V.W'_{A.G}$	$P.W'_{A.F} = V.W'_{A.F} \times p.e_{SSS_{A.F}} \times 1000$
--	--

- $V.W'_{A,F}$: Volumen a disminuir o aumentar del agregado fino húmedo en m³.
- $P.W'_{A,F}$: Peso a disminuir o aumentar del agregado fino húmedo en kg.

Las cantidades adicionales se suman a los volúmenes iniciales de cada componente. Al final, la suma de los volúmenes ya corregidos será igual al volumen teórico de diseño. Así mismo, las relaciones a/A , agua efectiva/cemento y el volumen del aditivo no se modifican.

PASO 18: Reducción del agua efectiva por el aditivo

Se reduce la cantidad de agua efectiva en un 5% cuando se emplea el aditivo SikaCem Plastificante en dosis de 250 mL por bolsa de cemento y 10% cuando se emplea en dosis de 500 mL por bolsa; con el fin de aumentar la resistencia del concreto permeable. Así mismo, la reducción del contenido de agua origina un aumento de los contenidos agregado fino y grueso.

Ecuación 19 Disminución del contenido del agua de diseño

$P.f_{ae} = \left(1 - \frac{F.R}{100}\right) \times (P_{ae} + P'_{ae})$	$V.f_{ae} = \frac{P.f_{ae}}{D_a}$
---	-----------------------------------

- $P.f_{ae}$: Peso del agua de diseño final en kg.
- $F.R$: Factor de de reducción del agua efectiva en %.
- $V.f_{ae}$: Volumen del agua de diseño final en m³.

Ecuación 20 Volumen y peso final del agregado grueso

$V.W.f_{A,F} = V.W'_{A,F} + V.W_{A,F} + \frac{a/A}{100} (V_{ae} + V'_{ae} - V.f_{ae})$
$P.W.f_{A,F} = p.e. sss_{A,F} \times V.W.f_{A,F}$

- $V.W.f_{A,F}$: Volumen final del agregado fino húmedo en m³.
- $P.W.f_{A,F}$: Peso final del agregado grueso húmedo en kg.

Ecuación 21 Volumen y peso final del agregado fino

$V.W.f_{A,G} = V.W'_{A,G} + V.W_{A,G} + \left(1 - \frac{a/A}{100}\right) (V_{ae} + V'_{ae} - V.f_{ae})$

$$P. W. f_{A.G} = p. e. sss_{A.G} \times V. W. f_{A.G}$$

- $V. W. f_{A.G}$: Volumen final del agregado fino húmedo en m³.
- $P. W. f_{A.G}$: Peso final del agregado fino húmedo en kg.

2.2.11. Compactación en el concreto permeable

La compactación en el concreto permeable es de suma importancia, pues un óptimo proceso de compactación permitirá que los componentes del concreto formen una estructura homogénea y resistente a las acciones mecánicas solicitadas. Por otra parte, una excesiva compactación en el concreto permeable traerá como consecuencia la disminución del contenido de aire y una reducción considerable del sistema de poros, afectando su capacidad para filtrar agua a través de su estructura.

La norma ACI-522 R sugiere compactar el concreto permeable mediante la utilización de rodillos giratorios. El rodillo necesario para abarcar el total del ancho promedio de un carril de 3.7 m (12 pies) debe pesar aproximadamente 227 kg (500 lb). Sin embargo, ante el riesgo de dejar marcas sobre los pavimentos mediante la utilización de este rodillo y la necesidad de compactar áreas pequeñas y poco accesibles; también se plantea la utilización de un rodillo giratorio de un peso aproximado de 70 lb (32 kg). [15]

En ciertas áreas es necesario una compactación adicional, debido a que pueden recibir mayor impacto mecánico como resultado del movimiento de giro de los vehículos que la transitan.



Figura 13 Compactación de pavimentos

Fuente: [15]



Figura 14 Compactación mediante rodillo giratorio de 32 Kg

Fuente: [15]

En relación a ello, si bien la norma NTP 339.034. establece la compactación mediante vibración durante el preparado de probetas de concretos con cero Slump, este procedimiento fue pensado en la elaboración de elementos prefabricados de concreto como postes, bloques de concreto, cajas de registro y otros, donde se busca eliminar el aire atrapado y la impermeabilidad de los mismo.

Por ello, la vibración no es el proceso más adecuado durante la preparación de testigos de concretos permeables y la construcción de pavimento permeables; pues con este procedimiento se obstruirá el sistema de poros del concreto haciéndole perder su principal cualidad.

Por lo antes expuesto y en base a otras investigaciones se propone para la elaboración de testigos de concreto, la compactación manual mediante un pisón mecánico, con el fin de simular la compactación real que sufre el concreto permeable durante su construcción.

La compactación de probetas y vigas de concreto se puede realizar con el martillo utilizado para realizar el ensayo de Próctor Estándar o con el Martillo Marshall utilizado para realizar el ensayo de Próctor Modificado, remplazando a la varilla lisa de punta semiesférica de 5/16” de diámetro empleado en la fabricación de probetas de concreto convencionales.



Figura 15 Martillo Marshall y martillo para Próctor Estándar

Para determinar el número de golpes a dar por cada capa durante la elaboración de testigo de concreto permeable empleamos la ecuación de energía de compactación del ensayo de Próctor.

Ecuación 22 Energía de compactación en el Ensayo de Próctor

$$Y = \frac{n \times N \times P \times H}{V}$$

Fuente: [6]

- Y= Presión de compactación aplicada a la muestra (Kgf/cm²)
- n= Número de capas en las que se elabora la probeta o viga
- N= Número de golpes por cada con la que se prepara las muestras
- P= Peso del martillo o pisón empleado para compactar las muestras (Kgf)
- H= Altura de caída del martillo sobre la muestra (cm)
- V= Volumen de la probetas o viga de la muestra (cm³)

En la práctica, el concreto permeable puede ser consolidado utilizando diferentes equipos como maquinas pavimentadoras, rodillos giratorios pesados y livianos, pisones, planchas compactadoras y reglas vibratorias. Se considera que el concreto está altamente compactado cuando usamos maquinas pavimentadoras o rodillos manuales pesados; y ligeramente compactado cuando se emplean rodillos manuales livianos sin lastre. [58]

Mark y Bury, exponen el procedimiento de compactación del concreto permeable utilizando el Martillo Marshall y moldes cilíndricos de 4"x8". [58]

A continuación, se muestra el cálculo de la energía de compactación aplicada al concreto permeable de acuerdo al procedimiento descrito por Mark y Bury. [58]

Tabla 6 Energía de compactación según el grado de consolidación requerida

Descripción	Altamente Compactado	Ligeramente Compactado
Y=	10.30 kgf/cm ²	0.66 kgf/cm ²
n=	3 capas	1 capas
P=	4.54 Kgf	4.54 Kgf
H=	45.70 cm	45.70 cm
V=	1570.8 cm ³	1570.8 cm ³
N=	26 Golpes	5 Golpes

Por otra parte, la norma NTP 339.230 utilizada para calcular la densidad y el contenido de vacíos en concretos permeables señala dos Métodos de Compactación. El Método de Compactación A golpeando 20 veces dos capas con el martillo de Proctor Estándar y Método de Compactación B golpeando 10 veces dos capas con el martillo de Marshall, en ambos casos teniendo como molde la Olla Washington con una altura de 213.52 mm y diámetro 203.01 dando un volumen de 7018.5 cm³. [44]

Con la fórmula de energía de compactación analizamos la energía proporcionada al concreto permeable durante la aplicación de la norma NTP 339.230.

Tabla 7 Energía de compactación según la NTP 339.230

Descripción	Martillo Próctor Estándar	Martillo Marshall
Y=	0.43 kgf/cm ²	0.59 kgf/cm ²
n=	2 capas	2 capas
P=	2.495 Kgf	4.54 Kgf
H=	30.48 cm	45.70 cm
V=	7018.5 cm ³	7018.5 cm ³
N=	20 Golpes	10 Golpes

En la presente investigación se calculó el número de golpes necesarios para especímenes de diferente volumen usando ambos martillos y la energía de compactación de 0.66 kg/cm² para concretos ligeramente compactados, sin embargo, durante la realización de los ensayos se utilizó el Martillo de Próctor Estándar por permitir una mejor distribución de la compactación al requerir más números de golpes para la misma energía de compactación.

**Figura 16 Peso total del Martillo de Próctor Estándar**

A) Compactación en probetas cilíndricas de 6"x12"

Para el caso de probetas cilíndricas empleadas en los ensayos de resistencia a la compresión de 6"x12"; el número de capas a vaciar será de 3, el volumen de las probetas es de 5301.44 cm³ y la presión mínima de 0.66 Kgf/cm². Remplazando estos valores en la fórmula de la energía de compactación del ensayo de Próctor, se obtiene que se deben compactar con 16 golpes cada una de las 3 capas de las probetas usando el Martillo Próctor Estándar y se deben compactar con 6 golpes cada una de las 3 capas usando el Martillo Marshall.

Tabla 8 Número de golpes para la compactación de probetas de 6"x12"

Descripción	Martillo Próctor Estándar	Martillo Marshall
Y=	0.66 kgf/cm ²	0.66 kgf/cm ²
n=	3 capas	3 capas
P=	2.495 kgf	4.54 kgf
H=	30.48 cm	45.70 cm
V=	5301.4 cm ³	5301.4 cm ³
N=	16 Golpes	6 Golpes

Como el valor de 0.66 kgf/cm² corresponde a la presión mínima de compactación, el número de golpes será redondeando al número entero inmediato superior.

B) Compactación en probetas cilíndricas de 4"x8"

Para el caso de probetas cilíndricas empleadas en los ensayos de permeabilidad de 4"x8"; el número de capas a vaciar será de 2, el volumen de las probetas es de 1570.8 cm³ y la presión mínima de 0.66 Kgf/cm². Remplazando estos valores en la fórmula de la energía de compactación del ensayo de Proctor, se obtiene que se deben compactar con 7 golpes cada una de las 2 capas de las probetas usando el Martillo Próctor Estándar y se deben compactar con 3 golpes cada una de las 2 capas usando el Martillo Marshall.

Tabla 9 Número de golpes para la compactación de probetas de 4"x8"

Descripción	Martillo Próctor Estándar	Martillo Marshall
Y=	0.66 kgf/cm ²	0.66 kgf/cm ²
n=	2 capas	2 capas
P=	2.495 Kgf	4.54 Kgf
H=	30.48 cm	45.70 cm
V=	1570.8 cm ³	1570.8 cm ³
N=	7 Golpes	3 Golpes

C) Compactación en vigas prismáticas de 6"x6"x22"

Para el caso de vigas prismáticas empleadas en los ensayos de resistencia a la flexión de 6"x6"x22"; el número de capas a vaciar será de 2, el volumen de las vigas es de 12375.00 cm³ y la presión mínima de 0.66 kg/cm².

Remplazando estos valores en la fórmula de la energía de compactación del ensayo de Próctor, se obtiene que se deben compactar con 54 golpes cada una de las 2 capas de las probetas usando el Martillo Próctor Estándar y se deben compactar con 20 golpes cada una de las 2 capas usando el Martillo Marshall.

Tabla 10 Número de golpes para la compactación de vigas de 6"x6"x22"

Descripción	Martillo Próctor Estándar	Martillo Marshall
Y=	0.66 kgf/cm ²	0.66 kgf/cm ²
n=	2 capas	2 capas
P=	2.495 Kgf	4.54 Kgf
H=	30.48 cm	45.70 cm
V=	12375.0 cm ³	12375.0 cm ³
N=	54 Golpes	20 Golpes

D) Compactación de especímenes de 4"x4" para el ensayo de abrasión e impacto

La norma NTP 339.239 no especifica el número de golpes con los que se debe compactar los especímenes ensayados a abrasión e impacto. Por eso el número de golpes durante la compactación se calcula de igual forma que para los casos anteriores.

Para el caso de especímenes cilíndricos empleados en los ensayos de abrasión e impacto de 4"x4"; el número de capas a vaciar será de 1, el volumen de las probetas es de 785.4 cm³ y la presión mínima de 0.66 Kgf/cm².

Tabla 11 Número de golpes para compactación de probetas 4"x8"

Descripción	Martillo Próctor Estándar	Martillo Marshall
Y=	0.66 kgf/cm ²	0.66 kgf/cm ²
n=	1 capas	1 capas
P=	2.495 Kgf	4.54 Kgf
H=	30.48 cm	45.70 cm
V=	785.4 cm ³	785.4 cm ³
N=	7 Golpes	3 Golpes

Remplazando estos valores en la fórmula de la energía de compactación del ensayo de Próctor, se obtiene que se deben compactar con 7 golpes la única capa de las probetas usando el Martillo Próctor Estándar y se deben compactar con 3 golpes la única capa de las probetas usando el Martillo Marshall.

2.2.12. Determinación de la permeabilidad del concreto permeable

El concreto permeable es un material homogéneo compuesto por partículas sólidas (agregado grueso) y vacíos interconectados a través de un sistema de poros, donde los vacíos pueden estar ocupados por agua o aire.

Al ser un medio poroso el flujo de agua se mueve a través de poros muy pequeños y bastante irregulares por lo que su velocidad es muy pequeña, pudiendo despreciar las pérdidas por fricción en el concreto permeable pues estas dependen directamente de la velocidad del flujo a través del medio por el cual circulan.

A) Permeámetros

Son instrumentos de laboratorio utilizados para medir la permeabilidad de materiales porosos como el concreto permeable o los suelos gravosos. Su funcionamiento está basado en la Ley de Darcy y para el caso de concretos permeables; la norma ACI 522-R brinda las dimensiones y consideraciones para determinar la conductividad hidráulica o capacidad de filtración de los concretos permeables mediante la utilización de estos aparatos.

Existen dos tipos de permeámetros, el permeámetro de carga constante empleado para determinar la conductividad en materiales donde el tiempo de evacuación del fluido es relativamente rápido, pues este no presenta mayor dificultad para permitir el paso del agua a través de su estructura como en el caso de los suelos gravosos.

Ecuación 23 Conductividad hidráulica en permeámetros de carga constante

$$k = \frac{V \times L}{h \times A \times t}$$

Fuente: [28]

- V= Volumen del medio poroso (cm³)
- L= Longitud del medio poroso (cm)
- H= Carga hidráulica (cm)
- A= Área del medio poroso (cm²)
- t= Tiempo que tarda el fluido en atravesar el medio poroso (s)

Por otro lado, para medir la permeabilidad en medios densos donde el flujo presenta mayor dificultad para atravesar el sistema de poros como es el caso del concreto permeable y los suelos arcillosos se emplea un permeámetro de carga variable

Ecuación 24 Conductividad hidráulica en permeámetros de carga variable

$$k = \frac{a \times L}{A \times t \times x} \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Fuente: [28]

- a= Área del tubo de alimentación del permeámetro (cm²)

- A= Área del medio poroso (cm²)
- L= Longitud del medio poroso (m)
- h1= Carga hidráulica inicial (cm)
- h2= Carga hidráulica inicial (cm)
- t= Tiempo que tarda el fluido en atravesar el medio poroso (s)

B) Características del Permeámetro de carga variable según la norma ACI-522R

Dado que el concreto permeable tiene una gran red de poros interconectados, los métodos convencionales empleados para evaluar la conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad de un concreto normal no son aplicables al concreto permeable. [28]

Para determinar la conductividad hidráulica del concreto permeable se emplea un permeámetro descendente de carga variable, tomando como referencia las medidas dadas en la norma ACI-522R.

El permeámetro consiste en tubo de PVC de 34 cm de largo y 4" de diámetro interior en la parte superior del permeámetro sobre el cual se medirá la carga hidráulica h1.



Figura 17 Tubo de acrílico de 4" y 50 cm de altura

En la parte inferior del tubo de 34 cm va la muestra de concreto permeable a ser ensayada, esta tiene 4" de diámetro y 8" de altura para simular el espesor típico de un pavimento de 20cm.

La muestra está cubierta de celofán dentro de un tubo del mismo espesor para asegurar que el flujo del agua sea unidireccional y descendente; impidiendo que el agua se desplace por los costados de la muestra.

En la parte inferior la muestra de ensayo descansa sobre una tee sanitaria de 4" con reducción a 2" la cual sirve como base a la muestra de ensayo y permite la evacuación del flujo de agua a través un sistema de tuberías y accesorios.

En el otro extremo, el permeámetro cuenta con una reducción de 2" a 1 1/2", seguida de una tubería de 1 1/2" que se conecta una válvula tipo globo la cual nos permitirá controlar el flujo del agua de un extremo a otro del permeámetro.

Al otro extremo de la válvula se une a un niple 1 1/2" x 6" el cual se conecta a su vez a un codo de 90° x 1 1/2". Sobre el codo se monta el otro extremo del permeámetro de carga variable el cual consiste en una tubería de PVC con diámetro de 1 1/2" que llega 1cm por encima del nivel referencia de la parte superior de la muestra de concreto permeable.

Se coloca una tubería que llegue un 1cm por encima del nivel de referencia con el fin de evitar la generación de un flujo insaturado durante la realización de la prueba de permeabilidad.

La condición de flujo insaturado se origina por un gradiente hidráulico negativo en la cual el flujo de mueve en sentido contrario provocando un error en la medición de la conductividad hidráulica del concreto permeable.

C) Materiales empleados en la elaboración del Permeámetro



Figura 18 Materiales empleados en la elaboración del permeámetro

Nota: (1) Tapón de 4", (2) Tee de 4" a 2", (3) Válvula tipo globo de 1 1/2", (4) Reducción de 2" a 1 1/2", (5) Niple 1 1/2"x6", (6) Adaptador 1 1/2", (7) Codo 90°x1 1/2", (8) Tubo 1 1/2", (9) Abrazadera 5".

E) Proceso constructivo del Permeámetro de carga variable



Figura 19 Proceso constructivo del permeámetro

Nota: (1) Unión de la tee y la reducción, (2) Conexión de la reducción y la tubería, (3) Unión del adaptador a la tubería, (4) Unión de la válvula y el adaptador, (5) Unión del niple al codo, (6) Unión de la tubería y el codo, (7) Sellado de las uniones, (8) Permeámetro terminado.

F) Procedimiento del ensayo de permeabilidad según la norma ACI-522R

Se envuelve en celofán la probeta y se coloca dentro de un tubo de PVC de las mismas dimensiones con el fin de evitar que el agua se filtre por los costados y el flujo sea únicamente unidimensional y descendente.

El tubo de PVC con la muestra dentro se monta encima de la Tee verificando que el sistema quede herméticamente sellado para evitar filtraciones hacia fuera del permeámetro.

Se coloca el tubo de control de la carga hidráulica de 4"x34cm encima del tubo con la muestra de concreto permeable. Esta unión no puede ser fija pues se necesita remover la muestra de concreto permeable una vez terminado el ensayo.

Para ello, se debe asegurar esta unión con un pedazo de la brida flexible ajustado a su vez con la abrazadera de 5" para garantizar que no haya filtraciones al exterior del permeámetro. Realizado esto se ha culminado el proceso de ensamblaje del permeámetro de carga variable.

Se verifica que no exista la presencia de ningún fluido por la realización de un ensayo previo.

Se cierra la válvula tipo globo y se procede a llenar con agua el permeámetro hasta una medida de 30cm en el tubo de control de carga hidráulica.

Una vez alcanzada la carga hidráulica en el tubo de control se procede a abrir la válvula tipo globo y se registra el tiempo que tarde el fluido en pasar de un extremo a otro. El líquido terminara de fluir cuando se alcance un equilibrio en las cargas hidráulicas en el sistema de vasos comunicantes.

El cálculo de capacidad filtración o conductividad hidráulica se realiza con la Ecuación 21, la cual corresponde a la Ley de Darcy para permeámetro de carga variable.



2.2.13. Intensidad de lluvia como indicador de la permeabilidad

Determinada la capacidad de filtración del concreto permeable resulta necesario disponer de un indicador de comparación para verificar el desempeño del mismo. Las estructuras realizadas teniendo como base el concreto permeable tienen como principal finalidad filtrar el agua proveniente de las precipitaciones en forma de garúa, lluvia o tormentas.

Las precipitaciones se cuantifican en alturas de lámina de agua, teniendo como unidad el milímetro. La altura medida de la lámina de agua indica la cantidad de agua acumulada en una superficie durante el fenómeno natural. Un milímetro de lluvia equivale a un litro de agua precipitado sobre un metro cuadrado de superficie. [37]

Así pues, si empleamos dos pluviómetros de distinta área para medir la cantidad de lluvia precipitada, observaríamos que la altura registrada en ambos dispositivos es la misma, pues el área con que cae en cada recipiente compensa los volúmenes de lluvia originando al final que

ambos pluviómetros registren la misma altura de lluvia; por tanto 1 Lt/m² termina siendo equivalente a 1 mm de altura de lluvia.

A) Medida de la Intensidad de lluvia

El indicador de comparación para medir la efectividad de la capacidad de filtración del concreto permeable debe expresarse en unidades equivalentes a este. La capacidad de filtración tiene por unidad el cm/s, por tanto, el indicador debe tener como unidades el milímetro o centímetro de la altura de la lámina de agua dividido por una unidad de tiempo expresado en minutos, horas o segundos.

La cantidad de agua precipitada en un cierto intervalo de tiempo viene representada por la intensidad de lluvia. Durante la ocurrencia de una tormenta es importante determinar la intensidad máxima de lluvia ocurrida durante la duración de la misma, es decir, la altura máxima de caída por unidad de tiempo en mm/hora. [37]

Ecuación 25 Intensidad de lluvia

$$i_{\max} = \frac{P}{t}$$

Fuente: [37]

- i_{\max} =Intensidad máxima (mm/hora)
- P=Precipitación en altura de agua (mm)
- t=Tiempo (horas)

La intensidad de lluvia se registra automáticamente en un aparato de medición denominado pluviógrafo. En el Perú, la implementación de pluviógrafos a cargo del SENAMHI es reciente y en algunas ciudades no se dispone aún de los mismos, siendo los pluviómetros los instrumentos de medición más comunes en las estaciones de medición de precipitaciones del SENAMHI. [38]

Los pluviómetros registran la precipitación máxima acumulada en 24 horas expresando sus valores en milímetros(mm), en tanto los pluviógrafos registran la intensidad de lluvia máxima por hora expresando sus valores en milímetro por hora(mm/h). [38]

Para convertir las precipitaciones máximas acumuladas mediante un pluviómetro en intensidades de lluvias se puede emplear la metodología de Dick Peschke indicada en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. [38]

B) Parámetros iniciales utilizados en la ecuación de Dick Peschke

El norte del Perú, y específicamente la ciudad de Chiclayo a lo largo de su creación ha sido afectada por incontables Fenómenos del Niño. Los más representativos son el Fenómeno del Niño del año 1983/1984, el Fenómeno del niño del año de 1997/1998 y el Fenómeno del Niño Costero del año 2017. [39]

Durante el Fenómeno del Niño del año 97/98 la ciudad de Chiclayo fue una de las más afectadas, pues las lluvias se concentraron en la región de Lambayeque a diferencia del Fenómeno del niño del 83/84 donde las precipitaciones tuvieron mayor impacto en las regiones de Tumbes y Piura. [40]

Según SENAMHI, en la ciudad de Chiclayo la precipitación máxima en 24 horas fue de 114 mm y tuvo un tiempo de duración total de 10 horas, iniciando a las 19 horas del día 14 de febrero de 1998 y culminando a las 5 horas del día siguiente. Dicha precipitación duplicó los valores registrados en los Fenómenos del Niño del 83/84 y el Fenómeno del niño Costero del 2017. [39]

La precipitación máxima de 114 mm y el tiempo de duración de la tormenta de 10 horas brindados por SENAMHI, sirvan como valores de entrada para obtener la intensidad de lluvia máxima utilizando la metodología de Dick Peschke.

C) Aplicación de la metodología de Dick Peschke

Esta metodología permite obtener la precipitación total mediante la precipitación máxima y el tiempo de duración de la lluvia. Es útil cuando no se cuentan con registros de estaciones pluviógrafas y nos permite determinar nuestro indicador para compararlo con la capacidad de filtración del concreto permeable.

Ecuación 26 Ecuación Dick Peschke

$$P_d = P_{24h} \times \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25}$$

Fuente: [37]

P_d = Precipitación total mm

d = Duración (minutos)

P_{24h} = Precipitación máxima en 24 horas (mm)

Los parámetros iniciales para la ecuación brindados por SENAMHI son:

d = 10 horas = 600 minutos

P_{24h} = 114 mm

Remplazando en la ecuación de Dick Peschke se obtiene la precipitación total en mm

$$P_d = 114x \left(\frac{600}{1440} \right)^{0.25} = 91.6 \text{ mm}$$

Finalmente, se divide la precipitación total calculada con la ecuación de Dick Peschke entre la duración de la tormenta para obtener la intensidad en mm/h.

$$i = \frac{91.6}{10} = 9.16 \text{ mm/h}$$

Para Chereque [41], las intensidades de lluvias por encima de 7.6 mm/h se califican como fuertes, por tanto, la intensidad de lluvia suscitada durante el último Fenómeno del Niño que servirá como indicador de comparación para medir la capacidad de filtración de nuestro concreto permeable estará en este rango.

Además, durante la vida útil de las estructuras de concreto permeable estas tienden a concentrar agua en su interior reduciendo con el tiempo la capacidad de filtrar agua. La reducción de la capacidad de filtración origina una disminución en el desempeño del mismo, debiendo tenerse en cuenta durante el diseño de mezcla del concreto.

Finalmente, Flores y Pacompia [42] señalan que la intensidad de lluvia a filtrar por nuestro concreto permeable será 10 veces más la calculada con la metodología de Dick Peschke, siendo finalmente 91.6 mm/h el valor que deberá filtrar el concreto permeable como mínimo.

2.2.14. Definición de términos básicos

-Absorción: Es un proceso por el cual un fluido atraviesa el concreto permeable y llena el sistema de poros aumentando la masa del concreto [21].

-Permeámetro: Es un equipo utilizado para medir la permeabilidad en el concreto permeable y su construcción esta detalla en la ACI 522R-10. Consta de una base de plástico, un conjunto de válvulas, una tubería de desfogue y un cilindro acrílico graduado [6].

-Poros de aire: Es el espacio en la estructura del concreto, mortero lechada, lleno con aire o cualquier otro gas [21].

III. Metodología

3.1 Tipo y nivel de investigación

De acuerdo a la metodología usada para demostrar la hipótesis, la investigación es experimental. Esto debido a la manipulación intencional de variables como el contenido de agregado fino y el contenido de aditivo para cumplir el objetivo general de determinar la influencia de estas variables sobre las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable.

Además de cumplir con los requisitos principales para ser del tipo experimental; como es la variación de intensidad en la aplicación de una variable (se utilizó agregado fino en cantidades de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% y aditivo en cantidades de 250 mL y 500 mL por bolsa de cemento), la medición del nivel de afectación de las variables independientes (contenido de agregado fino y aditivo) sobre las dependientes (resistencia a la compresión, flexión, abrasión y coeficiente de infiltración del concreto permeable) y el control interno del grupo experimental.

De acuerdo al tipo de datos o información estudiados, es una investigación del tipo cuantitativa. Así pues, las variables son medidas en valores numéricos para ser analizados e interpretados con técnicas estadísticas brindando evidencias a favor o en contra de la hipótesis.

De acuerdo al fin perseguido la investigación es básica o pura, dado que, se pretende establecer la relación entre el incremento de distintas cantidades de agregado fino y aditivo sobre las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable. La investigación tiene como fin describir de forma objetiva los efectos de las variables independientes (cantidad de agregado fino y aditivo) sobre las dependientes (propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable), de manera que sirva como base teórica para desarrollo de diseños de mezcla empleando agregado grueso de 3/4" y arena gruesa en pequeñas cantidades con las características propias de la ciudad de Chiclayo.

3.2 Diseño de investigación

La estrategia seleccionada para el desarrollo de la presente investigación se ha planteado desde un punto de vista cuantitativo, dado que el plan de acción y procesamiento de datos contempla la anotación de hechos medibles como la resistencia a compresión, resistencia a flexión, resistencia a la abrasión y permeabilidad del concreto permeable.

Además, se han definido métodos y técnicas normados en los códigos nacionales e internacionales, que se realizarán a través de ensayos con el propósito de obtener los datos que permitirán cumplir con los objetivos planteados al inicio de la investigación.

3.3 Población y muestra

La población está definida por el conjunto de especímenes que se pueden constituir a partir de los componentes del concreto permeable como son agregados, agua, cemento y aditivos.

Así pues, el muestreo es del tipo no probabilístico, pues la selección de elementos a analizar depende del criterio del investigador en relación a los indicadores que se buscan evaluar como son resistencia a la compresión, flexión, abrasión y permeabilidad; apoyado en las normas relacionadas con la caracterización de cada variable.

A continuación, se detalla el número de mezclas y la cantidad de probetas para cada ensayo:

A) Mezclas de prueba y población para el ensayo a resistencia

El diseño de mezcla de concreto permeable está basado en tablas y gráficos los cuales representan el promedio de resultados obtenidos en diversos laboratorios. Además, las tablas y gráficos de diseño corresponden a experiencias de laboratorios extranjeros recogidos en normas como la ACI 522-R. Así mismo, ocurre en la mayoría de casos que los valores obtenidos en estos códigos no permiten alcanzar las propiedades deseadas en el concreto permeable y difieren de la realidad.

Por ello, previamente se realizaron mezclas de prueba para seleccionar una relación agua/cemento que permita obtener una cantidad de pasta suficiente para envolver el agregado grueso sin generar problemas de trabajabilidad o resistencia en los diseños de estudio.

En resumen, las mezclas de prueba permitieron verificar el cumplimiento de las tablas de diseño de la norma ACI-522 R, seleccionar una relación agua/cemento para las mezclas de estudio y conocer de forma anticipada propiedades en estado fresco del concreto permeable.

En el siguiente gráfico se muestran las variables que se utilizaron en las mezclas pruebas.

Tabla 12 Variables en las mezclas de prueba

Variables en las mezclas de prueba (Resistencia a la Compresión)		
Contenido de A. Fino	0%	2
	10%	
Aditivo SikaCem Plastificante	250 mL x bolsa de cemento	2
	500 mL x bolsa de cemento	
Relación Agua/Cemento	0.27	2
	0.33	

Combinando las variables presentadas en la tabla anterior se definen 8 diseños de mezclas de prueba las cuales se presentan a continuación.

Tabla 13 Identificación de las 8 mezclas de prueba

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN
MP-1	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco
MP-2	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco
MP-3	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco
MP-4	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco
MP-5	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco
MP-6	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco
MP-7	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco
MP-8	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco

Con el fin de determinar la resistencia a compresión y tomando como base la NTP 339.034 se elaborarán probetas cilíndricas de 6"x12". Además, para validar los resultados obtenidos en el ensayo se usaron como mínimo dos probetas por cada muestra las cuales deberán cumplir con los coeficientes de variación establecidos por la norma mencionada.

Por tratarse de mezclas de prueba la edad para evaluar los testigos será a los 7 días, pues se busca conocer de forma anticipada la resistencia a compresión, siendo las propiedades en estado fresco como la trabajabilidad y contenido de vacíos; las principales variables a analizar en estas mezclas de prueba.

Por tanto, para cada uno de los 8 diseños de mezclas se elaborará 2 probetas para obtener un promedio de las resistencias a los 7 días, obteniendo finalmente un total de 16 probetas cilíndricas de 6"x12" para el ensayo a compresión de las mezclas de prueba.

B) Mezclas de estudio o experimentales

Determinada la relación agua/cemento adecuada para el agregado grueso de 3/4", se procedió al planteamiento de las mezclas de estudio o experimentales.

Las mezclas de estudio contienen las siguientes variables principales:

Tabla 14 Variables en las mezclas de estudio

Variables en las mezclas principales		
Contenido de A. Fino	0%	5
	5%	
	10%	
	15%	
	20%	
Aditivo SikaCem Plastificante	0 mL x bolsa de cemento	3
	250 mL x bolsa de cemento	
	500 mL x bolsa de cemento	

Combinando las variables presentadas en la tabla anterior se definen 15 mezclas de estudio las cuales se presentan a continuación.

Tabla 15 Identificación de las 15 mezclas de estudio

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN
M-1	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco
M-2	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco
M-3	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco
M-4	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco
M-5	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco
M-6	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco
M-7	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco
M-8	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco
M-9	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco
M-10	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco
M-11	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco
M-12	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco
M-13	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco
M-14	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco
M-15	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco

C) Población de las mezclas de estudio para el ensayo de la resistencia a compresión

Tomando como base la NTP 339.034 se usarán probetas cilíndricas de 6"x12". Además, para validar los resultados obtenidos en el ensayo se usaron como mínimo dos probetas por cada muestra las cuales deberán cumplir con los coeficientes de variación establecidos por la norma mencionada. Las edades para evaluar los testigos serán a los 7, 14 y 28 días de forma que se obtenga una variación de la resistencia a la compresión representativa. Así pues, se requiere 6 probetas por cada una de las 15 mezclas de estudio; pues 2 serán ensayadas a los 7 días, 2 a los 14 días y 2 a los 28 días. Finalmente, para obtener el número total de testigos a ensayar se multiplica los 6 testigos de cada mezcla por las 15 mezclas de estudio resultando un total de 90 testigos de concreto.

D) Población de las mezclas de estudio para el ensayo de resistencia a la flexión

Tomando como base la NTP 339.078 se usarán probetas prismáticas de 6"x6"x22". Además, para validar los resultados obtenidos en el ensayo se usaron como mínimo dos vigas por cada muestra las cuales deberán cumplir con los coeficientes de variación establecidos por la norma mencionada.

La edad para evaluar las vigas será a los 7 y 28 días, puesto que, el tiempo mínimo de curado de los especímenes de concreto permeable es de 7 días; y se busca conocer la resistencia alcanzada en este tiempo. Además, se evaluó a los 28 días, dado que, las muestras han desarrollado casi la totalidad de su resistencia a flexión a esta edad.

En consecuencia, se requiere 4 vigas por cada una de las 15 mezclas de estudio; pues 2 serán ensayadas a los 7 días y 2 a los 28 días. Finalmente, para obtener el número total de vigas a ensayar se multiplica las 4 vigas de cada mezcla por las 15 mezclas de estudio resultando un total de 60 vigas prismáticas de concreto.

E) Población de las mezclas de estudio para el ensayo de resistencia al impacto y abrasión

Tomando como base la NTP 339.239 se usarán probetas cilíndricas de 4"x4". Además, para validar los resultados obtenidos en el ensayo se usaron como mínimo dos testigos por cada muestra las cuales deberán cumplir con los coeficientes de variación establecidos por la norma mencionada.

La edad para evaluar los testigos será a los 7 y 28 días, puesto que, el tiempo mínimo de curado de los especímenes de concreto permeable es de 7 días; y se busca conocer la resistencia a la abrasión alcanzada en este tiempo. Además, se evaluó a los 28 días, dado que, las muestras han desarrollado casi la totalidad de su resistencia a esta edad.

En consecuencia, se requiere 4 testigos por cada una de las 15 mezclas de estudio; pues 2 serán ensayadas a los 7 días y 2 a los 28 días. Finalmente, para obtener el número total de testigos a ensayar se multiplica los 4 testigos de cada mezcla por las 15 mezclas de estudio resultando un total de 60 testigos cilíndricos de concreto.

F) Población de las mezclas de estudio para el ensayo de permeabilidad

Tomando como base la norma ACI 522R-10 se usarán probetas cilíndricas de 4"x8". Además, si bien la presente norma no hace referencia al número mínimo de testigos para validar los resultados obtenidos en el ensayo; se usaron como mínimo dos probetas por cada muestra tomando como referencia la NTP 339.034. La edad para evaluar los testigos será a los 28 días; pues el ensayo se realiza cuando la muestra ha desarrollado su resistencia a compresión total en conformidad con la norma antes mencionada.

Finalmente, para obtener el número total de testigos a ensayar se multiplica los 2 testigos necesarios por cada una de las 15 mezclas de estudio resultando un total de 30 testigos.

G) Población de las mezclas de estudio para el ensayo de densidad y contenido de vacíos en estado endurecido

Tomando como base la norma NTP 339.238 se usarán probetas cilíndricas de 4"x8". Además, si bien la presente norma no hace referencia al número mínimo de testigos para validar los resultados obtenidos en el ensayo; se usaron como mínimo dos probetas por cada muestra. La edad para evaluar los testigos será a los 28 días; pues el ensayo se realiza cuando la muestra ha desarrollado su resistencia a compresión total en conformidad con la norma antes mencionada. Finalmente, para obtener el número total de testigos a ensayar se multiplica los 2 testigos necesarios por cada una de las 15 mezclas de estudio resultando un total de 30 testigos.

A continuación, se muestra un resumen del número de testigos usados en cada ensayo.

Tabla 16 Resumen del número de testigos por cada ensayo

Ensayo	N° Testigos
Resistencia a la compresión (NTP 339.034)	90 cilindros (6"x12")
Resistencia a la flexión (NTP 339.078)	60 vigas (6"x6"x22")
Resistencia a la abrasión (NTP 339.239)	60 cilindros (4"x4")
Coefficiente de permeabilidad (ACI 522-R)	30 cilindros (4"x8")
Densidad y contenido de vacíos (NTP 339.238)	30 cilindros (4"x8")

3.4 Criterios de selección

La selección de mezclas de pruebas se hizo con base en la norma ACI 522-R que rige el concreto permeable, la cual indica que la relación agua/cemento puede variar entre 0.27 y 0.40, sin embargo, estos valores deben ser verificados pues una relación muy baja de agua/cemento puede originar que la pasta no logre cubrir el total del agregado grueso obteniendo en consecuencia bajas resistencias. Por ello se realizó previamente mezclas de prueba para seleccionar una adecuada relación agua/cemento, que no influyera más adelante en la evaluación de nuestras variables principales (los diferentes porcentajes de agregado fino).

La selección de mezclas para el desarrollo de la presente investigación se realizó con base en los objetivos perseguidos, así pues, se seleccionaron cinco porcentajes de agregado fino para obtener graficas representativas que nos permita analizar como varían las distintas propiedades del concreto permeable.

Los porcentajes de agregado fino utilizados han sido tomados teniendo en cuenta los límites dados en la norma de concreto permeable ACI 522-R.

Por otra parte, como el concreto permeable es relativamente seco, se utilizó el aditivo reductor de agua SikaCem Plastificante para mejorar la trabajabilidad del mismo, seleccionando dos cantidades que permitan obtener una curva representativa para analizar. Los porcentajes de aditivo corresponde a recomendaciones dadas por el proveedor del productor y las experiencias alcanzadas en otras tesis.

3.5 Operacionalización de variables

Para la investigación se ha seleccionado como variable independiente al porcentaje de agregado fino; variable que es eje de nuestra investigación pues se busca encontrar los límites de cantidades de la misma en el diseño de concreto permeable que brinde resultados adecuados de resistencia y permeabilidad.

Además, como segunda variable independiente se ha seleccionado el contenido del aditivo reductor de agua SikaCem Plastificante, ya que este nos permitirá obtener mayores resistencias en el concreto permeable y aumentar la trabajabilidad como consecuencia de la reducción de la demanda de agua en la mezcla.

Por otra parte, las variables dependientes son las propiedades del concreto permeable en estado fresco medida a través de sus indicadores: temperatura, asentamiento, densidad y contenido de vacíos; y las propiedades en estado endurecido medida a través de sus indicadores: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, resistencia a la abrasión, coeficiente de infiltración o permeabilidad, densidad y contenido de vacíos.

Como variables intervinientes tenemos al tamaño máximo nominal del agregado grueso, la relación agua/cemento y el tipo de cemento. Para esta investigación se seleccionó el agregado grueso de 3/4" por ser el más comercial en la ciudad de Chiclayo, generar mayores coeficientes de permeabilidad y permitir mayores tamaños de poro.

Así mismo, para definir la relación agua/cemento se realizaron 8 mezclas de prueba, con el propósito de encontrar la relación que permitiera el mejor desenvolvimiento de la pasta dentro de la matriz del concreto permeable.

Por el ultimo, se seleccionó el cemento tipo I, por permitir el desarrollo de las resistencias mecánicas en todas las edades del concreto, no reducir la porosidad del concreto y presentar un bajo calor de hidratación del concreto.

Tabla 17 Tabla de variables e indicadores

Variable	Indicador	Unid. medida	Variabilidad	Instrumento de medición
Independiente:				
Agregado Fino	Contenido de Agregado fino	Vol. A. fino / Vol. A. global	0%, 5%, 10% 15% y 20%	Balanza electrónica con aproximación de 1 g
Aditivo SikaCem Plastificante	Relación	Vol. Aditivo/ bls de Cemento	0 mL, 250 mL y 500 mL por bolsa de cemento	Probeta graduada de 500 mL
Dependiente:				
Propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable	Estado Fresco			
	Asentamiento	Pulgada	-----	Ensayo de asentamiento NTP 339.035
	Temperatura	°C	-----	Ensayo de temperatura NTP 339.184
	Contenido de vacíos	%	-----	Ensayo gravimétrico NTP 339.230
	Peso unitario	kgf/m ³	-----	Ensayo gravimétrico NTP 339.230
	Estado Endurecido			
	Resistencia a la compresión	kg/cm ²	-----	Ensayo de compresión NTP 339.034
	Resistencia a la flexión	kg/cm ²	-----	Ensayo de flexión NTP 339.078
	Resistencia a la abrasión	%	-----	Ensayo de abrasión NTP 339.239
	Permeabilidad	cm/s	-----	Ensayo de permeabilidad ACI 522-R
	Peso unitario	kgf/m ³	-----	Ensayo gravimétrico NTP 339.238
	Contenido de vacíos	%	-----	Ensayo gravimétrico NTP 339.238
Interviniente:				
Agregado Grueso	TMN	Pulgada	3/4"	Análisis granulométrico NTP 400.012
Relación a/c	a/c	Adimensional	0.30	Balanza electrónica / Probeta graduada
Cemento	Tipo de cemento	Tipo	I	Ensayo NTP 334.090
Morfología A. grueso	Forma	Categoría	Angular	Ensayo NTP 400.040
Textura A. grueso	Textura	Categoría	Rugoso	Ensayo ASTM D-5821

3.6 Métodos

3.6.1 Ensayo a los agregados

A) Ensayo para determinar las partículas más finas que pasan el tamiz N°200 por lavado en agregados finos y grueso NTP 400.018.

El siguiente ensayo indica el procedimiento para obtener de forma más eficiente la cantidad de partículas finas que pasan el tamiz normalizado N°200 respecto al tamizado en seco.

Nos permite tener valores más precisos y su aplicación es necesaria para comparar resultados con los límites establecidos en la norma NTP 400.037.

(1) Instrumentos

Tamices: Se utilizan los tamices N°16 y N°200 normalizados en la norma NTP 350.001.

Recipientes con el volumen necesario para permitir el lavado del agregado sin la pérdida de material.

Balanza con la sensibilidad necesaria para pesar el agregado fino y el agregado grueso.

Estufa con la capacidad de mantener la temperatura entre 100°C y 110°C.

(2) Procedimiento

Secar la muestra de agregado fino o grueso en el horno hasta obtener una masa constante. Después del secado se debe obtener la cantidad de agregado fino y grueso necesario para el ensayo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 18 Cantidad mínima de muestra para ensayo NTP 400.018

Tamaño Máximo nominal del agregado	Cantidad mínima en gramos
4.75 mm (N°4) o más pequeña	300
9.5 mm (3/8")	1000
19mm (3/4")	2500
37.5 (1 ½ ") o más grande	5000

Fuente: [51]

Una vez obtenido una masa constante, se debe adicionar agua al agregado hasta cubrir completamente su superficie.

Mover el recipiente para elevar las partículas de menor tamaño hacia la superficie libre del agua.

Colocar el tamiz N°16 sobre el tamiz N°200, luego verter el agua sobre los dos tamices procurando no eliminar las partículas de mayor tamaño.

Repetir el procedimiento hasta lograr que el agua de lavado obtenga un color transparente, siendo señal de que se han eliminado las partículas más finas.

Retornar el agregado retenido en ambos tamices al recipiente y colocar la muestra sobre el horno.

Retirar el agregado del horno cuando se obtenga una masa constante y pesar con una aproximación de 0.1 g.

Ecuación 27 Porcentaje más fino que pasa por el tamiz N°200

$$A = \frac{P_1 - P_2}{P_2} 100$$

Fuente: [51]

- A: Porcentaje de material fino que pasa por el tamiz N°200 por lavado.
- P1: Peso seco de la muestra original en gramos
- P2: Peso de la muestra luego de lavado el agregado en gramos.



Figura 22 Tamices N°16 y N°200



Figura 23 Lavado del agregado fino



Figura 24 Agregado grueso secado a una masa constante



Figura 25 Agregado fino secado a una masa constante

B) Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos NTP 400.012.

Este ensayo tiene como finalidad obtener cuantitativamente los tamaños de partículas de agregados gruesos y finos de un material seco por separación a través de tamices dispuestos sucesivamente uno a continuación del otro.

(1) Instrumentos

-Balanza, tamices, escobilla y tazones.

-Estufa con capacidad de mantener la temperatura uniforme de $110^{\circ}\pm 5^{\circ}$



Figura 26 Tamices para análisis granulométrico del agregado grueso



Figura 27 Tamices para análisis granulométrico del agregado fino



Figura 28 Horno a 110°C



Figura 29 Tazones o taras

(2) Muestra

Después de secado, la cantidad mínima de muestra de agregado fino debe ser 300g. La cantidad mínima de la muestra de agregado grueso se determina con la siguiente tabla.

Tabla 19 Cantidad mínima de agregado grueso para granulometría

TMN mm (pulg)	Cantidad mínima 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)

Fuente: [22]

(3) Procedimiento Análisis granulométrico del agregado grueso

Realizar el cuarteo de nuestro agregado.

Seleccionar la cantidad mínima de muestra de ensayo según el tamaño máximo nominal de nuestra a ensayar. Para nuestra investigación se utilizó piedra cuyo TMN fue de 3/4", por tanto, se pesó 5kg para el ensayo de granulometría.

Secar la muestra a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener peso constante.

Utilizar los tamices 3", 2", 1 ½", 1, ¾", ½", 3/8" y N°4 para el análisis del agregado grueso.



Figura 30 Selección del agregado grueso para granulometría



Figura 31 Cuarteo del agregado grueso para granulometría



Figura 32 Pesado de 5 kg de agregado grueso para granulometría



Figura 33 Tamizado del agregado grueso

Tener una muestra seca mínima de por lo menos 5 kg para agregado con TMN de 3/4.

Colocar los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, colocar la muestra sobre el tamiz superior.

Efectuar el tamizado de forma manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado. Se debe tener cuidado de no saturar la capacidad del tamiz pues no se permitirá un tamizado adecuado, para ello se debe emplear bandejas y taras para ir almacenando las muestras parcialmente tamizadas. Además, podemos usar una brocha para remover el agregado que pueda quedar atrapado en las mallas de los tamices.

Tabla 20 Husos granulométricos (NTP 400.012)

Huso	TMN	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados								
		1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°16	N°50
5	1" a 1/2"	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
67	3/4" a N°4	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	1/2" a N°4	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
89	3/8" a N°16	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	N°4 a N°16	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: [13]

Se procede a pesar en la balanza electrónica la cantidad de agregado retenido en cada tamiz.

Se efectúan los cálculos para obtener el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que paso.

Realizar la curva granulométrica para el agregado grueso y verificar el huso granulométrico al que pertenece nuestra muestra.



Figura 34 Agregado grueso de la Cantera La Victoria retenido en el tamiz de 3/4"



Figura 35 Agregado grueso de la Cantera La Victoria retenido en el tamiz de 1/2"

(4) Procedimiento del análisis granulométrico del agregado fino

Realizar el cuarteo de nuestro agregado.

La cantidad mínima de muestra a ensayar según la NTP 400.012 es de 300 g para agregado fino. A esta, se le debe agregar cierta cantidad para obtener así el valor mínimo deseado cuando se seca la muestra en el horno.

Secar la muestra a temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$, hasta obtener peso constante.

Utilizar los tamices N°4, N°8, N°16, N°50, N°100, N°200 y fondo.

Tener una muestra seca mínima de por lo menos 300 g para el agregado fino.

Colocar los tamices en orden decreciente, por tamaño de abertura, colocar la muestra sobre el tamiz superior.

Efectuar el tamizado de forma manual o por medio de un tamizador mecánico, durante un período adecuado.

Se debe tener cuidado de no saturar la capacidad del tamiz pues no permitirá un tamizado adecuado, para ello se debe emplear bandejas y taras para ir almacenando las muestras parcialmente tamizadas. Además, podemos usar una brocha para remover el agregado que pueda quedar atrapado en las mallas de los tamices.

Se procede a pesar en la balanza electrónica la cantidad de agregado retenido en cada tamiz.

Se efectúan los cálculos para obtener el porcentaje retenido acumulado y el porcentaje que pasa.

Realizar la curva granulométrica para el agregado fino y verificar que los porcentajes retenido se encuentren entre límites establecidos por la NTP 400.012.

Tabla 21 Límites granulométricos del agregado fino (NTP 400.012)

TAMIZ STANDARD (ABERTURA CUADRADA)			LIMITE TOTAL % PASANTE	
3/8"	9.520	mm	100	100
Nº 4	4.750	mm	95	100
Nº 8	2.360	mm	80	100
Nº 16	1.180	mm	50	85
Nº 30	0.600	mm	25	60
Nº 50	0.300	mm	10	30
Nº 100	0.150	mm	2	10

Fuente: [22]



Figura 36 Agregado fino retenido en el tamiz de Nº4



Figura 37 Agregado fino retenido en el tamiz de Nº8



Figura 38 Agregado fino retenido en el tamiz de Nº16



Figura 39 Agregado fino retenido en el tamiz de Nº50



Figura 40 Agregado fino retenido en el tamiz de N°100



Figura 41 Agregado fino retenido en el tamiz de N°200

C) Cantidad de terrones de arcilla y partículas friables en agregado fino y grueso NTP 400.015

Siendo los terrones de arcilla y partículas desmenuzables componentes deletéreos del agregado. La siguiente norma brinda el procedimiento para calcular la cantidad de terrones de arcilla y partículas friables en agregados con el fin de poder verificar los valores permisibles en la norma NTP 400.037. [52]

(1) Instrumentos

Balanza, agua destilada y tamices normalizados

Recipientes o tazones para contener las muestras

Estufa con la capacidad de proporcionar una temperatura entre 105 °C y 115°C.

(2) Muestra

El siguiente ensayo se realiza después del procedimiento descrito en la norma NTP 400.018 con el fin de obtener el agregado retenido en el tamiz normalizado N°200. Por ello, las cantidades requeridas para el ensayo deben ser obtenidas luego de haber realizado el tamizado en húmedo por la malla N°200.

(3) Procedimiento

Tamizar el agregado por la malla N°200 de acuerdo a la norma NTP 400.018.

Secar la muestra en el horno hasta obtener una masa constante.

La cantidad de muestra del agregado fino está comprendida por el material retenido en el tamiz N°16. La cantidad mínima es de 25 gramos; y según la granulometría del mismo se requerirá tamizar varias veces para obtener la cantidad mínima.

La cantidad de muestra del agregado grueso se obtiene por tamizado en las mallas N°4, 3/8", 3/4" y 1 1/2". Los pesos mínimos retenidos en cada malla son los siguientes:

Tabla 22 Pesos mínimos de agregado grueso para ensayo NTP 400.015

Tamaño de las partículas de las muestras	Peso mínimo retenido
4,75 mm a 9,5 mm (No.4 a 3/8 pulg)	1 Kg
9,5 mm a 19,0 mm (3/8 pulg a 3/4 pulg)	2 Kg
19,0 mm a 37,5 mm (3/4 pulg a 1 1/2 pulg)	3 Kg
Mayor que 37,5 mm (1 1/2 pulg)	5 Kg

Fuente: [52]

Esparcir el agregado sobre un recipiente y llenar con agua destilada durante 24 horas.

Desmenuzar los terrones del agregado ejerciendo compresión sobre las partículas con los dedos pulgar e índice. Durante este procedimiento se debe evitar utilizar las uñas y ejercer presión del agregado sobre superficies más duras.

Una vez separado los terrenos mediante el procedimiento anterior, se procede a realizar un tamizado húmedo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 23 Tamices usados para la separación de terrones

Tamaño de las partículas de las muestras	Tamiz a utilizar
Agregado fino retenido el tamiz N°16	N°20
4,75 mm a 9,5 mm (No.4 a 3/8 pulg)	N°8
4,75 mm a 9,5 mm (3/8 a 3/4 pulg)	N°4
19,0 mm a 37,5 mm (3/4 pulg a 1 1/2 pulg)	N°4
Mayor que 37,5 mm (1 1/2 pulg)	N°4

Fuente: [52]

Remover el material retenido en el tamiz evitando la pérdida de material. A continuación, secar el agregado retenido a una temperatura de 110°C hasta obtener una masa constante.

Pesar el agregado una vez obtenido la masa constante.

Calcular la cantidad de partículas demenuzables y terrones.

Ecuación 28 Porcentaje terrones de arcilla del agregado

$$P = \frac{M - R}{M} 100$$

Fuente: [52]

- M: Masa de la muestra de ensayo en gramos.
- R: Masa retenida en el tamiz designado en gramos.

Para el agregado grueso el porcentaje de partículas desmenuzables se obtiene del promedio de porcentajes de partículas desmenuzables en cada tamiz normalizado.

En caso el agregado contenga una cantidad de partículas menor al 5%, estas no se tomarán en cuenta para el ensayo y su porcentaje para obtener el promedio será obtenido de las partículas con el tamaño más cercano.



Figura 42 Agregado fino retenido sobre la malla N°16 NTP 400.015



Figura 43 Agregado fino para ensayo NTP 400.015



Figura 44 Agregado fino sumergido en agua destilada



Figura 45 Compresión del agregado para desprender los terrones



Figura 46 Tamizado húmedo de los terrones en tamiz N°20



Figura 47 Muestra una vez eliminado los terrones

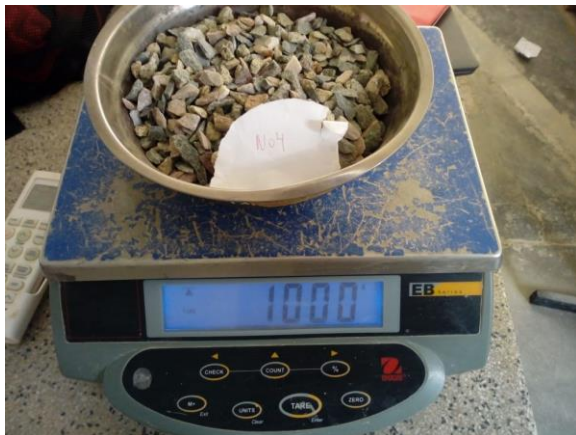


Figura 48 Agregado grueso retenido en el tamiz N°4 NTP 400.015



Figura 49 Agregado grueso retenido en el tamiz de 3/8" NTP 400.015



Figura 50 Agregado grueso retenido en el tamiz 3/4" NTP 400.015



Figura 51 Tamizado sobre la malla N°8 del agregado retenido en el tamiz N°4



Figura 52 Agregado grueso sumergido en agua destilada



Figura 53 Tamices usados para retener los terrones del agregado grueso

D) Contenido de humedad del agregado fino y grueso NTP 339.185.

Permite determinar el contenido de humedad evaporable del agregado en su estado natural. La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados y que no es susceptible de evaporación por lo que no está incluido en el porcentaje determinado por este método.

(1) Instrumentos

- Balanza y estufa con capacidad de mantener la temperatura uniforme de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$
- Recipiente para la muestra que no sea sensible al calor y con suficiente capacidad para evitar derrames de la muestra.

Tabla 24 Cantidad de agregado grueso para ensayo de humedad

TMN mm (pulg)	Masa mínima de la muestra 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
5,0 (1)	4,0
37,5 (2.1/2)	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 (6)	50,0

Fuente: [23]

(2) Procedimiento para el agregado grueso

Realizar el cuarteo de nuestro agregado.

Se deberá pesar una muestra de por lo menos 2 kg para agregado con TMN de 1/2.

Se pesa en conjunto el recipiente y el agregado.

Se lleva la muestra a la estufa por un tiempo de 24 horas.

Pasado las 24 horas se vuelve a pesar la muestra sacada del horno.

Se realizan los cálculos para obtener el contenido de humedad con la siguiente formula:

Ecuación 29 Contenido de humedad del agregado

$$P = \left(\frac{W-D}{D} \right) 100\%$$

Fuente: [23]

- P: Contenido total de humedad en porcentaje.
- W: Masa de la muestra humedad en gramos.
- D: Masa de la muestra seca en gramos.

(3) Procedimiento para el agregado fino

Realizar el cuarteo de nuestro agregado.

Se deberá pesar una muestra de por lo menos 300 g para agregado el agregado fino.

Se pesa en conjunto el recipiente y el agregado.

Se lleva la muestra a la estufa por un tiempo de 24 horas.

Pasado las 24 horas se vuelve a pesar la muestra sacada del horno.

Se realizan los cálculos para obtener el contenido de humedad con la siguiente formula:



Figura 54 Agregado fino para ensayo de humedad



Figura 55 Muestra secada para contenido de humedad

E) Peso específico y absorción del agregado fino NTP 400.022.

Este ensayo permite determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado fino.

(1) Instrumentos

- Balanza
- Matraz de 500 cm³ de capacidad, calibrado hasta 0,1 cm³ a 20 °C.



Figura 56 Matraz con capacidad de 500 cm³



Figura 57 Cono metálico para verificar el exceso de humedad

- Molde cónico, metálico de 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro interior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura.

- Pisón metálico recto.

- Bandeja

- Badilejo

- Estufa con capacidad de mantener la temperatura uniforme de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}$

(3) Procedimiento

Realizar el cuarto de la muestra de agregado fino.

Se deberá pesar una muestra representativa de 1 kg como mínimo.

Cubrir con agua y dejar reposar por 24 horas para saturarlo.

Decantar el agua evitando la pérdida de finos y extender sobre una superficie plana expuesta a una corriente de aire tibio. Se debe remover frecuentemente para obtener un secado uniforme.

Colocar la muestra en el molde cónico en tres capas y golpear la superficie 25 veces por capa. Se debe seguir secando y probando hasta que el cono se derrumbe al quitar el molde lo que indica un estado de superficie seca.

Del material obtenido pesamos 500g y simultáneamente pesamos el matraz de 500cm³.

Se vacía la mezcla al matraz y se llena con agua hasta obtener la marca de 500cm³. Agitar, rodar e invertir el frasco para eliminar burbujas de aire.

Llenar el frasco hasta la capacidad calibrada. Determinar el peso total del frasco, espécimen y agua.

Remover el agregado fino del frasco, secar en la estufa hasta peso constante e enfriar a temperatura ambiente por ½ a 1 ½ hora y determinar el peso.



Figura 58 Pesado de un 1 Kg de muestra de agregado fino



Figura 59 Agregado fino cubierto con agua durante 24 h



Figura 60 Prueba del cono para verificar el secado superficial



Figura 61 Agregado fino superficialmente seco



Figura 62 Pesado de 500 g de agregado fino



Figura 63 Pesado del matraz N°1



Figura 64 Pesado del matraz N°2



Figura 65 Vaciado del agregado fino a una tara para secarlo en el horno



Figura 66 Eliminación de aire atrapado en el matraz



Figura 67 Agregado fino introducido dentro del matraz

Se efectúan los siguientes cálculos

Ecuación 30 Peso específico de la masa del agregado fino

$$Pe_m = \left(\frac{W_o}{V - V_o} \right) \times 100\%$$

Fuente: [24]

Ecuación 31 Peso específico de masa SSS del agregado fino

$$Pe_{sss} = \left(\frac{500}{V - V_a} \right) \times 100\%$$

Fuente: [24]

Ecuación 32 Peso específico aparente del agregado fino

$$Pe_a = \left(\frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)} \right) \times 100\%$$

Fuente: [24]

Ecuación 33 Absorción del agregado fino

$$A = \left(\frac{500 - W_o}{W_o} \right) \times 100\%$$

Fuente: [24]

- Pe_m : Peso específico de masa.
- Pe_{sss} : Peso específico de masa saturado con superficie seca.
- Pe_a : Peso específico aparente.
- A: Absorción.
- W_o : Peso en el aire de la muestra seca en horno en gramos.
- V: Volumen del frasco en cm³
- V_o : Peso en gramos o volumen en cm³ de agua añadida a la mezcla.

F) Peso específico y absorción del agregado grueso NTP 400.021.

Este ensayo permite determinar el peso específico seco, peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas de sumergido en agua el agregado grueso.

(1) Instrumentos

- Balanza

- Estufa con capacidad de mantener la temperatura uniforme de $110^{\circ}\pm 5^{\circ}$
- Bandeja y tamiz N°4
- Recipiente de plástico para agua y canastilla.

(2) Procedimiento

Descartar todo el material que pase el tamiz 4,75 mm (N° 4) por tamizado seco y luego lavar el material para remover polvo u otras impurezas.

Se deberá pesar una muestra representativa de 3 kg como mínimo.

Secar la muestra a peso constantes en la estufa por un periodo de 1 a 3 horas hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura cómoda al tacto.

Sumergir el agregado en agua por un periodo de 24 horas a temperatura ambiente.

Remover la muestra del agua y hacerla rodar sobre un paño grande y absorbente, hasta hacer desaparecer toda película de agua visible. Se debe tener cuidado en evitar la evaporación durante la operación del secado de la superficie. Se obtiene el peso de la muestra bajo la condición de saturación con superficie seca.

Se coloca de inmediato la muestra saturada con superficie seca en la cesta de alambre y se determina su peso en agua teniendo en cuenta de eliminar previamente el contenido de aire.

Secar la muestra a peso constantes en la estufa por un periodo de 1 a 3 horas hasta que el agregado haya enfriado a una temperatura cómoda al tacto y se pesa.

Se efectúan los siguientes cálculos

Ecuación 34 Peso específico de masa del agregado grueso

$$Pe_m = \left(\frac{A}{B - C} \right) \times 100\%$$

Fuente: [29]

Ecuación 35 Peso específico de masa SSS del agregado grueso

$$Pe_{sss} = \left(\frac{B}{B - C} \right) \times 100\%$$

Fuente: [29]

Ecuación 36 Peso específico aparente del agregado grueso

$$Pe_a = \left(\frac{A}{A - C} \right) \times 100$$

Fuente: [29]

Ecuación 37 Absorción del agregado del grueso

$$A = \left(\frac{B - A}{A} \right) \times 100\%$$

Fuente: [29]

- A: Peso en el aire de la muestra seca en gramos.
- B: Peso de la muestra saturada superficialmente seca en el aire en gramos.
- C: Peso en el agua de la muestra saturada.



Figura 68 Tamizado por la malla N°4 del agregado grueso



Figura 69 Pesado de 3 Kg para el ensayo de peso específico



Figura 70 Lavado del agregado grueso



Figura 71 Secado del agregado grueso



Figura 72 Pesado de la muestra SSS más tara



Figura 73 Pesado de la tara donde se coloca la muestra SSS



Figura 74 Muestra SSS en agua



Figura 75 Pesado de la canastilla

G) Peso unitario suelto y vacíos del agregado NTP 400.017.

Permite obtener el peso unitario seco o compactado y el porcentaje de vacíos en agregados finos y gruesos o en combinación de ambos.

(1) Instrumentos

- Balanza, bandeja, cucharón, brocha, regla y molde para compactar
- Varilla compactadora de acero cilíndrica de 5/8" de diámetro y longitud de 24"

(2) Procedimiento para determinar el peso unitario suelto

Con una cuchara llenar el recipiente hasta que rebose procurando que la descarga del agregado se desde una altura máxima de 50mm. A continuación, se elimina el agregado sobrante con una regla para pasar a determinar el peso del recipiente solo y con agregado.

Llenar la tercera parte del recipiente y emparejar con los dedos. Seguidamente se apisona con 25 golpes de la varilla. De la misma manera se llena las dos capas. Por ultimo una vez lleno el recipiente, se enrasa la superficie y determinar el peso del recipiente lleno y vacío.

(3) Cálculos

Ecuación 38 Peso unitario del agregado en kg/m³

$$M = \frac{G - T}{V}$$

Fuente [30]

Ecuación 39 Peso unitario en condición saturado

$$M_{SSS} = M[1 + (G - T) \times F]$$

Fuente [30]

Ecuación 40 Cálculo del porcentaje de vacíos

$$\% \text{Vacíos} = \frac{(A \times W) - B}{A \times W}$$

Fuente [30]

G: Peso del recipiente más el agregado en kg

T: Peso del recipiente en kg

V: Volumen del recipiente de medida m³

F: Factor del recipiente de medida

A: Porcentaje de absorción del agregado



Figura 76 Peso de molde más arena gruesa suelta



Figura 77 Varillado del agregado grueso durante el ensayo de peso unitario



Figura 78 Peso de molde más agregado grueso compactado



Figura 79 Peso de molde para determinar el peso unitario de los agregados

H) Abrasión al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½") en la Máquina de Los Ángeles NTP 400.019.

Este ensayo mide la degradación de los agregados como resultado de una combinación de acciones de abrasión e impacto en un tambor de acero en rotación constante que contiene un número especificado de esferas de acero. Al rotar el tambor crean un efecto de trituración por impacto. Al finalizar el agregado es retirado y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.

(1) Instrumentos

- Máquina de los Ángeles, tamices y balanza
- Carga que consistirá en esferas de acero de 46.8mm (1 27/32 pulg) de diámetro con una masa de 390g a 445g.

Tabla 25 Gradación de muestras para ensayo de abrasión

Medida del tamiz		Masa para ensayo según gradación en g			
Que pasa	Retenido	A	B	C	D
1 1/2"	1"	1250 ± 25	-	-	-
1"	3/4"	1250 ± 25	-	-	-
3/4"	1/2"	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
1/2"	3/8"	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
3/8"	1/4"	-	-	2500 ± 10	-
1/4"	N°4	-	-	2500 ± 10	-
N°4	N°8	-	-	-	5000
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Fuente: [31]

Tabla 26 Cantidad de carga según tipo de gradación

Gradación	N° de esferas	Masa de la carga(g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Fuente: [31]

(2) Procedimiento

Lavar y secar en horno la muestra a peso constante. Separar cada fracción y recombinar para obtener una de las gradaciones A, B, C o D que permitan seleccionar el número de esferas a usar en el ensayo. Colocar la muestra y esferas en la máquina

Hacer rotar la Máquina de los Ángeles a una velocidad entre 30rpm a 33rpm por 500 revoluciones. Descargar el material de la máquina y realizar una separación previa a través del tamiz N°12. Tamizar la muestra que atraviesa la malla N°12. Lavar. Secar el material retenido en el mismo tamiz.

Calcular diferencia entre la masa inicial y final como porcentaje de la masa inicial.

**Figura 80 Agregado grueso retenido en la malla de 1/2"****Figura 81 Agregado grueso retenido en la malla de 3/8"****Figura 82 Agregado grueso y esferas en la Máquina de los Ángeles****Figura 83 Agregado grueso retenido en el tamiz N°12 después de las 500 rev**



Figura 84 Tamizado del agregado por la malla N°12



Figura 85 Utilización de EPPS durante el Ensayo de Abrasión

I) Ensayo para determinar la reactividad potencial álcali-sílice del agregado grueso y fino (Método Químico) NTP 334.099

El siguiente ensayo permite conocer la reactividad potencial del agregado fino y grueso con los álcalis del concreto elaborado a base de Cemento Portland.

(1) Instrumentos

- Balanza analítica y un juego de pesas para obtener la cantidad de sílice por el método gravimétrico.
- Disco pulverizador y moladora de mandíbula para chancar agregado.
- Baño líquido capaz de mantener una temperatura constante de 80°C por 24 horas.
- Malla N°50 y N°100.
- Recipiente resistente a la corrosión con tapas térmicas.
- Pipetas, buretas y recipientes de vidrio.

(2) Insumos

Agua destilada u otra agua de igual pureza, solución de 10g de molibdato de amonio disuelto en 100 mL de agua, ácido clorhídrico estándar (0.005N), ácido clorhídrico, ácido fluorhídrico, solución de 10g de ácido oxálico dihidratado disuelto en 100 mL de agua, solución de 1g de fenolftaleína en 100 mL de etanol, solución estándar de sílice y ácido sulfúrico.

(3) Procedimiento para obtener la muestra

Triturar 4 kg de agregado grueso y fino con la chancadora de mandíbula pequeña hasta que pase por la malla N°4. Tamizar el agregado grueso y la arena por la malla N°50 y N°100. Descartar el material que pasa la malla N°100.

Triturar el material retenido en el tamiz N°50 con el pulverizador tipo disco hasta que todo el material logre pasar la malla N°50.

Realizar un tamizado en húmedo sobre el tamiz N°100, procurando lavar en porciones máximas de 100g para no saturar el tamiz. Secar al horno 20 horas y tamizar en seco nuevamente por el tamiz N°100. Reservar la porción retenida en el tamiz N°100 para el ensayo.

(4) Procedimiento de reacción

Separar tres porciones de 25g de muestra de agregado y colocarlas en un recipiente adicionando una solución 25 mL de NaOH. Separar en cuarto recipiente con 25 mL de NaOH.

Colocar los 4 recipientes sellados en un baño líquido a una temperatura de 80°C durante 24 horas. Retirar los recipientes y enfriarlo con agua corriente a una temperatura de 30°C.

Una vez enfriado los cuatro recipientes, filtrar la solución de los residuos de agregado y del cuarto recipiente.

Agitar el líquido filtrado para obtener una mezcla homogénea y tomar una muestra de 10 mL, la cual será diluida en 200 mL de agua. Esta solución sirve para determinar la cantidad sílice disuelta y reducida en un medio alcalino.

Evaporar en un baño a vapor 100 mL de la solución anterior con 5 a 10 mL de HCL. Tapar el recipiente y dejar reposar por 10 minutos.

Diluir la solución con igual cantidad de agua caliente y filtrar para para obtener la sílice separa (SiO₂). Repetir el procedimiento anterior con el residuo retenido en el filtro para obtener una nueva cantidad de sílice separada (SiO₂).

Reunir los papeles con residuos en un crisol de platino. Secar a calor suave hasta que el carbón del papel filtro este completamente quemado para no inflamarlo. Una vez quemado el papel filtro, secar hasta a una temperatura de 1100°C a 1200°C para obtener una masa constante del residuo. Obtener el peso del residuo.

A continuación, tratar con 10 mL de HF y una gota de H₂SO₄ el residuo para eliminar impurezas. Calentar el residuo a una temperatura de 1050°C a 1100°C por un tiempo de 1 a 2 minutos, enfriar y pesar. La diferencia entre este peso y el anterior representa la cantidad de SiO₂.

Realizar el mismo procedimiento para el residuo del cuarto frasco.

Ecuación 41 Concentración de SiO₂ en los agregados

$$Se = (W_1 - W_2) * 3330$$

Fuente: [54]

- Se= Concentración de SiO₂ en milimoles por litro.
- W₁=Gramos de SiO₂ fundido en 100 mL de la solución diluida
- W₂= Gramos de SiO₂ fundido de la solución en blanco (cuarto frasco)

Ecuación 42 Reducción de alcalinidad de los agregados

$$Rc = \frac{\frac{20N}{V_1}}{V_3 - V_2} * 1000$$

Fuente: [54]

- Rc= Reducción a la alcalinidad en milimoles por litro.
- N= Normalidad del HCL
- V₁=Mililitros de solución diluida en la muestra inicial de agregado
- V₂= Mililitros de HCL usados en las tres muestras.
- V₃= Mililitros de HCL usados en el ensayo en blanco del cuarto frasco.

J) Ensayo para determinar impurezas orgánicas en el agregado fino NTP 400.024

El siguiente ensayo describe el procedimiento para determinar de forma cualitativa la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino empleado en la elaboración de concreto. [55]

(1) Instrumentos

- Botella de vidrio incoloro graduada de capacidad de 350 mL a 470 mL de capacidad.
- 75 mL de solución color de referencia.
- 130 mL de nivel de agregado fino.
- 200 mL de nivel de solución de NaOH.

(2) Insumos

Reactivo solución de Hidróxido de Sodio (3%): Disolver 3 partes por peso de Hidróxido de Sodio en 97 partes de agua.

Solución estándar de referencia: Disolver reactivo grado de dicromato de potasio en ácido sulfúrico a una relación de 250 g/100ML.

(3) Procedimiento

Llene la botella graduada con 130 mL de la muestra del agregado fino.

Adicionar hidróxido de sodio hasta alcanzar un volumen de 200 mL entre el agregado fino y el hidróxido de sodio.

Sellar la botella, agitar y dejar reposar un día.

Al siguiente día, llene el frasco con 75 ml de nivel con la solución de referencia preparada con 120 minutos de anticipación como máximo.

Comparar el color del líquido que se mantiene encima del agregado y registrar si el color es más claro, igual o más oscuro que la solución estándar.

De forma alternativa, se puede emplear 5 vidrios de color estándar de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 27 Colores de vidrio estándar para ensayo de impurezas

Color Gardner Standard N°	Placa Orgánica N°
5	1
8	2
11	3 (Standard)
13	4
16	5

Fuente: [55]

En este caso ya no es necesario preparar la solución de referencia.

Si el color del líquido suspendido sobre el agregado fino es más oscuro que el color del vidrio patrón, el agregado fino bajo será considerado como que posiblemente contiene impurezas orgánicas dañinas.



Figura 86 Agregado fino para ensayo de impurezas orgánicas



Figura 87 Color Gardner patrón N°1 en el ensayo NTP 400.024

K) Ensayo para determinar el porcentaje de partículas fracturadas del agregado grueso ASTM D-5821

Este ensayo, determina el porcentaje de partículas fracturadas para cumplir con los requerimientos de la norma “CE 010 Pavimentos Urbanos”. El objetivo de las especificaciones es aumentar la resistencia al esfuerzo cortante y proporcionar estabilidad a los pavimentos mediante la fricción por la textura del agregado. [66]

(1) Instrumentos

- Balanza con una aproximación al 0.1% de la masa.
- Tamices normalizados y espátula.

(2) Procedimiento

Tamizar la muestra por la malla N°4.

El agregado se tamiza obteniendo una masa mínima de 1500 g para TMN de 3/4”, 500 g para TMN de 1/2” y 200 g para TMN de 3/8”.

Retirar el material de las muestras mediante lavado y secar en el horno.

Extender cada fracción de agregado sobre una superficie limpia separando para tamaño en dos grupos: partículas con el número de caras fracturadas requeridas y partículas sin el número de caras fracturadas requeridas.

Una cara fracturada, es una superficie rugosa y angular producto de la trituración artificial o natural.

La superficie fracturada debe tener un área igual o mayor a un cuarto del área máxima proyectada de la partícula estudiada.

Determinar la masa de partículas fracturadas y no fracturadas por cada fracción.

Se efectúa los siguientes cálculos:

Ecuación 43 Porcentaje de partículas fracturadas

$$P = \frac{F}{F + N} \times 100\%$$

Fuente: [66]

- P: Porcentaje de partículas con cara fracturadas, en %.
- F: Masa de la muestra con el número de caras fracturadas requeridas, en g.
- N: Masa de la muestra sin el número de caras fracturadas requeridas, en g



Figura 88 Partículas con una cara fracturada



Figura 89 Peso de material con una cara fracturada



Figura 90 Partículas con dos caras fracturadas



Figura 91 Peso de material con dos caras fracturadas

L) Ensayo para determinar el contenido de partículas chatas o alargadas del agregado NTP 400.040

El siguiente método permite obtener el porcentaje de partículas chatas y alargadas. Estas partículas influyen en la consolidación y la dificultad de colocación de los concretos. [67]

La realización del ensayo implica conocer los siguientes conceptos:

- Longitud: Mayor dimensión de la partícula del agregado grueso.
- Ancho: Mayor dimensión perpendicular a la longitud de la partícula del agregado grueso.
- Espesor: Mayor dimensión perpendicular a la longitud y ancho de la partícula.

(1) Instrumentos

- Dispositivo calibrador conformado por una base plana con dos postes fijos y un brazo giratorio, capaz de fijar relaciones entre las distancias de 1:2;1:3;1:4 y 1:5.

(2) Procedimiento

Tamizar la muestra hasta obtener una cantidad mínima de 2 kg de agregado de 1/2".

Ensayar las partículas de cada fracción utilizando el aparato calibrador y clasificarlas en uno de los siguientes grupos: chatas, alargadas y ni chatas ni alargadas.

Para determinar si una partícula es chata se debe ajustar el brazo móvil y el poste al ancho de la partícula. La partícula es chata si su espesor atraviesa la abertura menor del aparato calibrador.

Para determinar si una partícula es alargada se debe ajustar el brazo móvil y el poste a la longitud de la partícula. La partícula es alargada si su ancho atraviesa la abertura menor del aparato calibrador.

Determinar el porcentaje de cada grupo pesando las partículas clasificadas.



Figura 92 Aparato calibrador



Figura 93 Prueba de alargamiento



Figura 94 Pesado de partículas de 3/4" que no son chatas ni alargadas



Figura 95 Muestras de partículas de 3/4" después del ensayo

M) Ensayo para determinar la angularidad del agregado fino ASTM C-1252/MTC E222

Este ensayo permite estimar la forma, textura, angularidad y esfericidad del agregado fino mediante la obtención del contenido vacíos en muestras no compactadas. [69]

El ensayo puede realizarse mediante tres procedimientos. El procedimiento A o muestra de granulometría estándar, utiliza una gradación específica obtenida por la combinación de fracciones ensayadas individualmente de partículas retenidas entre las mallas N°8 y N°100.

El procedimiento B o muestra de tamaños individuales, ensaya tres fracciones de partículas de forma individual, retenidas en las mallas N°16, N°30 y N°50.

El procedimiento C o gradación natural, ensaya muestras con su gradación original retenida entre las mallas N°8 a N°200. La norma MTC E222, adopta este procedimiento para obtener el contenido de vacíos de una muestra no compactada de agregado fino.

(1) Instrumentos

- Tubo cilíndrico de metal con un volumen aproximado de 100 ml, con un diámetro interno de 39 mm y altura de 89 mm.
- Embudo con diámetro de la sección inferior de 12.7 mm, diámetro de la sección superior de 54 mm, altura de 38mm y ángulo de inclinación de 60°.
- Soporte del embudo con una altura de caída para la muestra de 115 mm.
- Balanza y espátula.

(2) Procedimiento

Lavar la muestra por la malla N°200 o N°100 según el procedimiento empleado y secar en el horno.

Obtener la muestra de ensayo que pase la malla N°8 y sea retenida en la malla N°200.

Colocar la muestra a ensayar sobre el embudo, utilizar el dedo para evitar que la muestra caiga dentro del recipiente cilíndrico.

Retirar el dedo del embudo y dejar caer la muestra sobre el cilindro.

Enrasar el cilindro con una espátula.

Pesar la muestra con el cilindro.

Volver a ensayar la muestra para obtener el promedio de ambos resultados.

Calcular la densidad relativa del agregado fino según la NTP 400.022

Calcular el porcentaje de vacíos:

Ecuación 44 Angularidad del agregado fino

$$A = \frac{V - \frac{W}{G_{sb}}}{V} \times 100\%$$

Fuente: [69]

- A: Angularidad o porcentaje de vacíos sin compactar del material, en %.
- V: Volumen del cilindro, en ml.
- W: Peso del cilindro, en g.
- Gsb: Densidad relativa, en gr/ml.

N) Ensayo para determinar el índice de forma y textura de los agregados ASTM D-3398

El siguiente ensayo brinda un valor índice o medida cuantitativa para las propiedades de forma y textura de los agregados. Estas propiedades influyen sobre la compactación y resistencia de las mezclas de concreto; afectando el desempeño del mismo sobre los pavimentos. [70]

(1) Instrumentos

- Molde cilíndrico metálico con diámetro interior de 6" y altura interior de 7".
- Varilla de acero con diámetro de 15.88 mm y con una longitud de 610 mm (24").
- Balanza con capacidad de 15 kg y sensibilidad de máxima de 2 g.

(2) Procedimiento

Obtener por cuarteo una muestra de 6 kg para cada uno de los tamaños de agregado presentes en la gradación, en una cantidad mínima del 10%.

Lavar la muestra a través del tamiz N°200 hasta que el agua se torne de color transparente, a continuación, secar en el horno.

Determinar el peso específico aparente seco de acuerdo a la norma NTP 400.021 y NTP 400.022. para cada fracción de agregado.

Determinar el porcentaje de vacíos dos veces para cada nivel de compactación utilizando agregado secado en el horno.

El molde cilíndrico se coloca sobre una superficie nivelada y se llena en tres capas. Cada capa se varilla 10 o 50 veces según el nivel de compactación que se desea calcular.

Se registra el peso del molde con la muestra de agregado compactado.

Se efectúa los siguientes cálculos:

Ecuación 45 Vacíos del agregado fino no compactado

$$V_{10} = \left[1 - \frac{W_{10}}{S.V} \right] \times 100\% \quad V_{50} = \left[1 - \frac{W_{50}}{S.V} \right] \times 100\%$$

Fuente: [70]

- V10: Vacíos para muestras compactadas con 10 golpes por capa, en %.
- V50: Vacíos para muestras compactadas con 50 golpes por capa, en %.
- W10: Peso neto de la muestra compactada con 10 golpes por capa, en g.
- W50: Peso neto de la muestra compactada con 50 golpes por capa, en g.
- S: Peso específico aparente seco de la fracción de ensayo.
- V: Volumen del molde cilíndrico metálico, en cm³
- Determinar el índice de partículas (I_a) para cada fracción.

Ecuación 46 Índice de partícula para cada fracción

$$I_a = 1.25xV_{10} - 0.25xV_{50} - 32$$

Fuente: [70]

El índice de partículas del agregado global se obtiene ponderando el índice de cada fracción con respecto al porcentaje del agregado dentro de la granulometría.

**Figura 96 Molde de CBR****Figura 97 Cálculo del peso específico**

3.6.2 Ensayo al concreto en estado fresco

A) Asentamiento del Concreto (Slump) NTP 339.035.

Este ensayo permite medir el asentamiento del concreto en estado fresco dando una aproximación indirecta de la trabajabilidad del mismo. Además de forma indirecta se puede observar la cohesión

(1) Instrumentos

- Varilla compactadora de hierro liso de 5/8" de diámetro y 24" de longitud.
- Molde metálico o Cono de Abrams
- Regla
- Wincha
- Cucharón

(2) Procedimiento

Humedecer el molde y colocar sobre una superficie rígida, plana y húmeda que no absorba agua.

Se coloca el molde sobre la superficie y se sujeta firmemente con los pies. A continuación, se llena con tres capas, cada capa a un tercio del volumen del molde. Cada capa se compacta con 25 golpes de forma uniforme en toda la superficie.

Se agrega contenido adicional a la última capa para tener concreto en todo momento sobre el molde y se procede a alisar la superficie.

Se alza el molde hacia arriba sin impartir movimiento lateral en un tiempo no mayor a dos segundos. El ensayo no debe tardar más de dos 2 minutos 30 segundos desde que inicia el llenado de la primera capa hasta levantar el molde.

Se mide el asentamiento al determinar la diferencia entre la altura del molde y la altura final de la muestra una vez retirado el molde.



Figura 98 Cono de Abrams



Figura 99 Varilla lisa 5/8"



Figura 100 Slump de la muestra M-1



Figura 101 Slump de la muestra M-2

B) Ensayo para determinar el contenido de vacíos y la densidad del concreto permeable en estado fresco NTP 339.230

La siguiente norma brinda los pasos para determinar el conjunto de vacíos y densidad del concreto permeable recién elaborado con un agregado de tamaño máximo nominal menor a 2.5 cm. Los datos obtenidos por este ensayo sirven como base para verificar las proporciones obtenidas durante el diseño de mezcla. Sin embargo, los datos obtenidos por este ensayo varían según el método de consolidación empleado.

(1) Equipos y materiales

Martillo Próctor estándar con una altura de caída 304.8 ± 1 mm y una masa de 2495 ± 23 g.

Martillo Marshall con una altura de caída 457 ± 1.3 mm y una masa de 4540 ± 10 g.

Recipiente de acero u otro material no absorbente con una capacidad mínima de 7 litros y una relación diámetro/altura igual a 0.75 a 1.25. La Olla Washington empleada para determinar el contenido de vacíos y densidad en el concreto normal según la norma NTP 339.080 cumple con estos requisitos.

Placa metálica y plana con un espesor mínimo de 0.6 cm con unas dimensiones en largo y anchos mayores en 5 cm al diámetro de la Olla Washington.

Cucharón del tamaño adecuado para tomar muestras representativas sin derramar concreto al momento del vaciado.

(2) Procedimiento

Determinar el peso de la Olla Washington vacía.

Colocar la Olla Washington sobre una superficie nivelada y no expuesta a vibraciones.

Humedecer la Olla Washington para evitar con el fin de evitar que el recipiente robe agua a la mezcla, luego usar esponja para eliminar el agua en el fondo del molde.

El concreto permeable será vaciado en dos capas dentro del recipiente. El llenado se realiza con el cucharón procurando vaciar concreto alrededor de todo el recipiente para así tener una mezcla homogénea libre de segregación.

Para la consolidación usando el Procedimiento A, se deberá dejar caer el Martillo de Próctor Estándar 20 veces desde una altura de caída completa distribuyendo los golpes en toda la superficie de la Olla Washington.

Para la consolidación usando el Procedimiento B, se deberá dejar caer el Martillo Marshall 10 veces desde una altura de caída completa distribuyendo los golpes en toda la superficie de la Olla Washington.

La segunda capa se deberá llenar con un exceso de forma que el concreto permeable se acomode al molde con la consolidación. Se procede dejando caer la mitad de golpes sobre el concreto permeable para luego agregar o eliminar concreto según sea el caso, procediendo finalmente con la cantidad de golpes faltantes requeridos por cada procedimiento de consolidación.

Enrasar la superficie del molde con la plancha metálica procurando cubrir dos tercios de la superficie del molde y realizando movimiento de aserrado.

Ecuación 47 Densidad del concreto en estado fresco

$$D = \frac{M_c - M_m}{V_m}$$

Fuente: [44]

- M_c = Masa de recipiente con concreto en kg.
- M_m =Masa de recipiente en kg.
- V_m =Volumen de recipiente en m³.
- D = Densidad del concreto permeable en kg/m³.

Ecuación 48 Densidad Teórica del concreto en estado fresco

$$T = \frac{M_s}{V_s}$$

Fuente: [44]

- M_s =Masa total de todos los componentes del concreto permeable en kg.
- V_s =Volumen total todos los materiales del concreto permeable en m³.
- T : Densidad teórica del concreto permeable en kg/m³.

La masa del agregado fino y grueso deberá tomarse en su estado saturado superficialmente seco SSS. Así mismo, el volumen resulta de dividir la masa entre el producto de la densidad relativa en condición saturada superficialmente seca de cada componente por la densidad del agua. Calcular el Contenido de Vacíos (U)

Ecuación 49 Contenido de Vacíos (U)

$$U = \frac{T - D}{T} 100$$

Fuente: [44]

- T= Densidad teórica del concreto permeable en lg/m3.
- D= Densidad del concreto permeable en kg/m3.
- U= Contenido de vacíos en %.



Figura 102 Pesado de molde más muestra MP-5



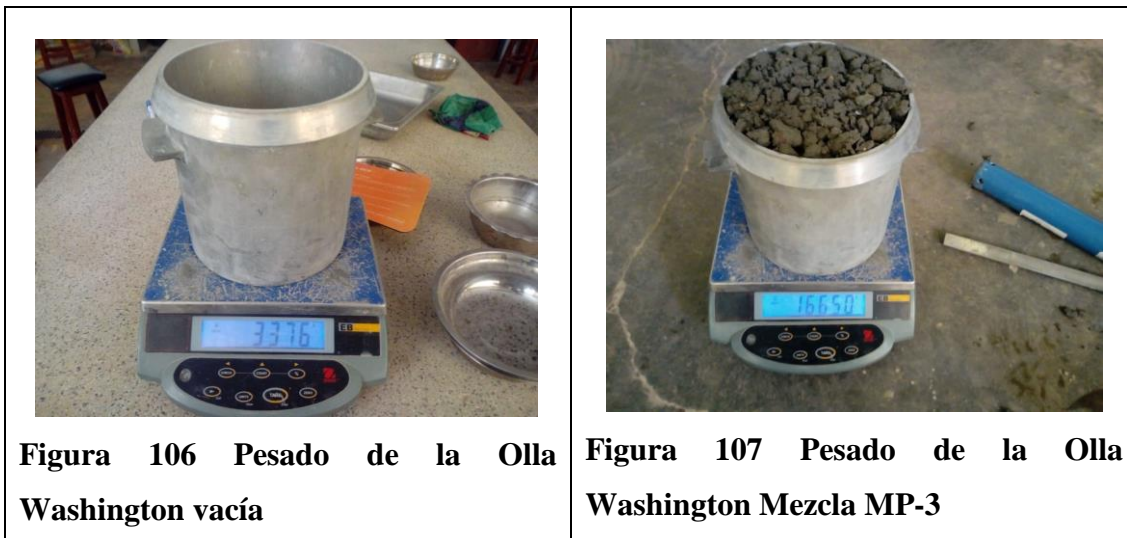
Figura 103 Pesado del molde metálico de 4"x8"



Figura 104 Compactación con el martillo de Proctor Estándar



Figura 105 Vaciado en la Olla Washington



C) Ensayo para determinar el contenido del aire de mezcla de concreto fresco, por el método de presión NTP 339.083

La presente norma establece los procedimientos para determinar el contenido de vacíos o aire del concreto en estado fresco, donde el concreto fue fabricado con agregados relativamente densos. Este método se basa en el cambio de volumen dentro del volumen de prueba como resultado de una variación de la presión aplicada en el concreto. [45]

(1) Instrumentos

- Medidor de aire: Su funcionamiento está basado en la Ley de Boyle, la cual señala que el volumen en un recipiente cerrado es inversamente proporcional a la presión ejercida por un gas cuando la temperatura del sistema se mantiene constante.

Existen dos tipos de medidores de aire, para este ensayo se contó con un medido tipo B, el cual permite igualar el volumen de aire a una presión conocida con el volumen de aire de la muestra de concreto en estado fresco.

- Recipiente de medición: El recipiente usado será cilíndrico y de metal.

-Tubo de vaciado: El tubo vaciado permitirá introducir agua dentro del recipiente de medición para ocupar el vacío del concreto. En el caso del concreto permeable, el cual presenta vacíos en el orden del 15% al 30%, el tubo de vaciado debe ser de un mayor volumen en comparación con el empleado para garantizar el llenado del sistema de poros de forma rápida.

- Varilla de apisonado: A mayor grado de consolidación el contenido de aire y vacíos se ve reducido, por tanto, para nuestro caso se reemplazó la varilla de apisonado por el martillo de Proctor de Estándar con el fin de recrear las mismas condiciones de consolidación que se le dará al concreto permeable cuando es vaciado in situ.

- Martillo de goma: Para eliminar el aire atrapado en la mezcla de concreto durante el ensayo.
- Platina de enrasado: Se usará para dar el acabado a la superficie del concreto vaciado en el molde.

(2) Procedimiento

-Se prepara la muestra de concreto y se vacía dentro del molde en tres capas. Cada capa será compactada 7 veces con el martillo de Proctor Estándar. Después de la consolidación de cada capa se golpeará con el martillo de goma 15 veces alrededor del recipiente con el fin de distribuir uniformemente la muestra.

-Culminado el proceso de consolidación y vaciado se debe enrasar la superficie del concreto eliminando cualquier excedente de mezcla sobre el volumen del molde.

- Se limpia los excesos de mezcla en los bordes del recipiente de forma que permita formar el sello hermético al colocar la tapa sobre el mismo.

-Se ensambla el aparato sobre el molde, se cierra la válvula que conecta la cámara y el recipiente.

-Se abren los dos grifos de la cubierta y se comienza a bombear agua a través de uno de los grifos. En el caso del concreto permeable, la cantidad de agua requerida para llenar el concreto permeable es considerable por lo que se utilizó un embudo y una probeta para realizar este paso. Se busca que el agua llene la cámara y esto será así cuando comience a emerger agua por el segundo grifo. Una vez que sale agua por el segundo grifo se golpea con el mazo de goma el molde para eliminar el aire atrapado. Este proceso concluye cuando sale agua por el segundo grifo de forma uniforme y sin burbujas de aire; señal de la ausencia de aire atrapado en el molde.

- Se cierra la válvula de la cámara de aire y se comienza a bombear aire hasta el punto de calibración del aparato, se golpea suavemente el manómetro hasta estabilizar la lectura de presión.

- Una vez alcanzada la presión inicial, se cierran los grifos. Finalmente, se abre la válvula que comunica la cámara de presión con el recipiente y se toma medida del contenido de aire de la muestra.



Figura 108 Enrasado del molde



Figura 109 Colocación del sello hermético



Figura 110 Ingreso de agua a la Olla Washington por el grifo 1



Figura 111 Bombeo de aire hasta alcanzar la presión inicial



Figura 112 Lectura del contenido de vacíos muestra M-15



Figura 113 Lectura del contenido de la muestra M-1

D) Determinación de la temperatura del concreto NTP 339.184

El presente ensayo brinda el procedimiento para determinar la temperatura del concreto en estado fresco. La temperatura del concreto fresco es uno de los muchos criterios de aceptación del concreto. [46]

(1) Instrumentos

Recipiente: El recipiente debe ser de un material no absorbente para evitar quitar agua a la mezcla de concreto. Las dimensiones del mismo deben permitir el recubrimiento de 7.5 cm en todas las direcciones alrededor del termómetro con el que se mide la temperatura.

Medidor de temperatura: Debe tener un rango de acción entre 0° C y 50°, dando la temperatura con una variación de 0.5 °C. Además, debe permitir su inmersión en el concreto de por lo menos 7.5 cm.

(2) Procedimiento

Preparar una muestra de concreto y vaciarla dentro del recipiente no absorbente, el cual debe permitir un recubrimiento mínimo de 7.5 cm alrededor del termómetro.

Colocar el termómetro en la mezcla de forma que este recubierto por los 7.5 cm en todas las direcciones del mismo. Se debe procurar cerrar el contorno del termómetro presionando el concreto sobre el mismo con el fin de evitar que la temperatura afecte la lectura del mismo. Registrar la temperatura después de un tiempo mínimo de dos minutos o hasta cuando la lectura del termómetro se estabilice.

La temperatura del concreto iniciarse en un tiempo máximo de 5 minutos después de vaciado el concreto.



Figura 114 Temperatura ambiente al momento del vaciado



Figura 115 Temperatura de la mezcla M-15

E) Elaboración y curado de especímenes de concreto NTP 339.183

Establece las normas para elaborar y curar muestras en laboratorio empleando concreto compactado por apisonado o vibración.

(1) Instrumentos

- Moldes cilíndricos de 6"x12" de metal u otro material resistente, rígido y no absorbente.
- Moldes cilíndricos de 4"x8" de metal u otro material resistente, rígido y no absorbente.
- Molde prismático de 6"x6"x22" con superficie interior lisa y caras perpendiculares sin ondulaciones.
- Varilla compactadora de acero cilíndrica
- Martillo de caucho de 0.57 kg
- Balanzas
- Mezcladora de concreto
- Equipo misceláneo: tamices cuchara, palas, regla, guantes de caucho, etc.

(2) Procedimiento

Colocar los moldes sobre superficies nivelados y sin vibración.

Limpiar el molde y humedecer con grasa u otro lubricante para facilitar el sacado de la probeta.

Llenar los moldes según la siguiente tabla.

Tabla 28 Número de capas requeridas en la elaboración de muestras

Tamaño de la muestra en mm (pulg)	Método de compactación	Nº de capas	Altura de capa mm (pulg)
CILINDROS			
Hasta 300 (12)	Apisonado (varillado)	3 iguales	100 (4)
Mayor que 300 (12)	Apisonado (varillado)	Las requeridas	100 (4)
Hasta 460 (18)	Vibración	2 iguales	200 (8)
Mayor que 460 (18)	Vibración	3 o más	200 (8)
PRIMAS			
Hasta 200 (8)	Apisonado (varillado)	2 iguales	100 (4)
Mayor que 200 (8)	Apisonado (varillado)	3 o más	100 (4)
Hasta 200 (8)	Vibración	1	200 (8) C172
Mayor que 200 (8)	Vibración	2 o más	200 (8) C172

Fuente: [33]

La norma NTP 339.183 en la nota 15 señala que el método de consolidación para concretos con baja contenido de agua, como es el caso del concreto permeable, debe realizarse según lo estipulado en la norma respectiva de cada concreto.

En base a ellos nos remitimos a la norma ACI-522R para determinar el apisonado con martillo de Proctor Estándar como método de consolidación del concreto permeable.

Se realiza la compactación con el número de golpes indicado a continuación.

Tabla 29 Número de golpes por cada capa compactada

Tipo de Molde	Tipo de Martillo	# Capas	# Golpes
Cilíndrico 6"x12"	Proctor Estándar	3	16
Cilíndrico 4"x8"	Proctor Estándar	2	7
Cilíndrico 4"x4"	Proctor Estándar	1	7
Prismático 6"x6"x22"	Proctor Estándar	2	54

Fuente: Elaboración Propia

La elaboración esta tabla se realizó de acuerdo a lo señalado en el capítulo 2.2.11 "Compactación en el concreto permeable".

Una vez llenado todo el molde se debe enrasar y eliminar el material excedente.

Se debe cubrir la superficie del molde con una lámina de plástico de 24h.

Extraer las probetas y sumergir en un baño de agua saturada con cal durante 7 días.

Se sumerge la muestra sin molde y sin exponer a condiciones de goteo o corrientes de agua.



Figura 116 Molde prismático de 6"x6"x22"



Figura 117 Probetas de concreto permeable de 6"x12"



Figura 118 Curado de vigas y cilindros en agua



Figura 119 Desmoldado de vigas de concreto permeable

3.6.3 Ensayo al concreto en estado endurecido

A) Ensayo para determinar el contenido de vacíos y la densidad del concreto permeable en estado endurecido NTP 339.238

El siguiente ensayo permite calcular la densidad y contenido de vacíos en especímenes de concreto permeable que hayan alcanzado la resistencia necesaria para evitar el desprendimiento de sus componentes de la matriz principal del mismo.

Para ello debemos conocer el volumen de una probeta o espécimen de concreto permeable mediante la medición de sus dimensiones.

Después, el espécimen se introduce en un horno el tiempo necesario para obtener una masa de peso constante de acuerdo al Método A o Método B de secado indicados en la presente norma.

A continuación, el espécimen secado se sumerge en agua para determinar el volumen de vacíos en este. El volumen de sólidos y vacíos en el espécimen se mide restando el volumen total y el volumen desplazado al ser sumergido en agua.

(1) Equipos y materiales

Balanza: Deberá permitir determinar la masa sumergida de los especímenes.

Calibrador de mandíbula, Vernier o Pie de Rey: La profundidad mínima de mandíbula debe ser 6.5 cm, con un rango de medición entre 0 cm y 30 cm, y exactitud de 0.25 mm.

Termómetro u otro dispositivo para medir la temperatura.

Recipiente con agua del tamaño suficiente para sumergir completamente el espécimen de concreto permeable y permitir su medición.

Horno con el espacio suficiente para contener los especímenes.

Mazo de goma o cuero crudo con un peso de 600 gramos aproximadamente.

Sierra de diamante para cortar núcleos de concreto en caso ser necesario.

(2) Procedimiento

Se obtiene el espécimen a ensayar, el cual deberá ser cilíndrico con un diámetro de 10 cm o 4". La altura máxima del espécimen debe ser 30cm y de ser necesario deberá ser cortado con la sierra de diamante para obtener una altura igual o menor a esta.

Utilizar un cepillo metálico para remover las partículas sueltas sin realizar una presión excesiva pues se podría desprender partículas de la matriz del concreto.

Obtener la longitud promedio usando el Vernier con una aproximación de 0.25mm y registrar como L.

Promediar la medida de dos diámetros perpendiculares para obtener el diámetro promedio y registrar como D.

Método de Secado A: Introducir el espécimen en el horno durante 23 a 25 horas a una temperatura de 35°C a 41°C, retirar del horno y dejar enfriar 1 a 3 horas para obtener la masa. Repetir este paso hasta que la diferencia entre masas sea menor a 0.5% y registrar esta masa como A.

Método de Secado B: Introducir el espécimen en el horno durante 23 a 25 horas a una temperatura de 105°C a 115°C, retirar del horno y dejar enfriar 1 a 3 horas para obtener la masa. Volver a introducir el espécimen en el horno por 2 horas y repetir este paso hasta que la diferencia entre masas sea menor a 0.5% y registrar esta masa como A.

Sumergir el espécimen en el recipiente de agua, durante 25 a 35 minutos esperando que asiente de forma vertical.

Golpear con el mazo de goma 10 veces procurando rotar el espécimen para abarcar toda su superficie con el fin de eliminar el aire atrapado.

Invertir el espécimen para determinar la masa sumergido y determinar este valor como B.

Registrar la temperatura del agua donde se sumergió el espécimen para obtener su densidad.

Realizar el cálculo de la densidad y contenido de vacíos.

Ecuación 50 Densidad en estado endurecido

$$\text{Densidad } \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{KA}{D^2L}$$

Fuente: [47]

- A= masa del espécimen en g.
- D=diámetro promedio del espécimen en mm.
- L=longitud del espécimen en mm.
- K= 1273240 (constante).

Ecuación 51 Contenido de vacíos en estado endurecido

$$\text{Contenido de vacíos (\%)} = \left[1 - \left(\frac{K(A - B)}{D_w D^2 L} \right) 100 \right]$$

Fuente: [47]

B= masa sumergida en g.

D_w=densidad del agua a la temperatura registrando en kg/m³.



Figura 120 Espécimen de concreto secado en el horno



Figura 121 Cepillado del espécimen de concreto permeable



Figura 122 Medición del largo de especímenes



Figura 123 Temperatura del agua para calcular la densidad del agua



Figura 124 Eliminación del aire atrapado



Figura 125 Obtención del peso sumergido

B) Resistencia a la compresión NTP 339.034.

El ensayo consiste en la aplicación de una carga axial a cilindros hasta que estos fallen. La resistencia se obtiene dividiendo la carga entre la sección transversal del cilindro ensayado.

(1) Equipos y materiales

-Máquina de ensayo, almohadillas de neopreno y probetas a ensayar de 6"x12".

(2) Procedimiento

El ensayo se debe hacer inmediatamente después de haber sido extraídas de la cámara de curado evitando la pérdida de humedad.

Se rompen de acuerdo a las siguientes tolerancias

Tabla 30 Tolerancias de edad de ensayo de los especímenes

Edad del ensayo	Tolerancia
12 horas	± 0.25 horas o 2.1 %
24 horas	± 0.5 horas o 2.1 %
3 días	± 2 horas o 2.28 %
7 días	± 6 horas o 3.6 %
28 días	± 20 horas o 3.0 %
56 días	± 40 horas o 3.0 %
90 días	± 2 días o 2.2 %

Fuente: [34]

Se coloca el bloque de carga sobre la plataforma de la máquina de ensayo, limpiando con un paño las superficies de los bloques de carga tanto superior como inferior.

Se coloca el espécimen sobre el bloque inferior y se alinea cuidadosamente con el bloque superior. Antes de encender la maquina se debe verificar que el indicador se encuentre en cero.

Se enciende la máquina y se aplica la carga en un rango de 0.25Mpa/segundo hasta alcanzar la capacidad ultima del espécimen.

Se calcula la resistencia a compresión con la siguiente ecuación

Ecuación 52 Resistencia a compresión

$$R=P/A$$

Fuente: [34]

- R: Esfuerzo a compresión kg/cm²
- P: Máxima carga aplicada en kg
- A: Área del espécimen ensayado en cm²

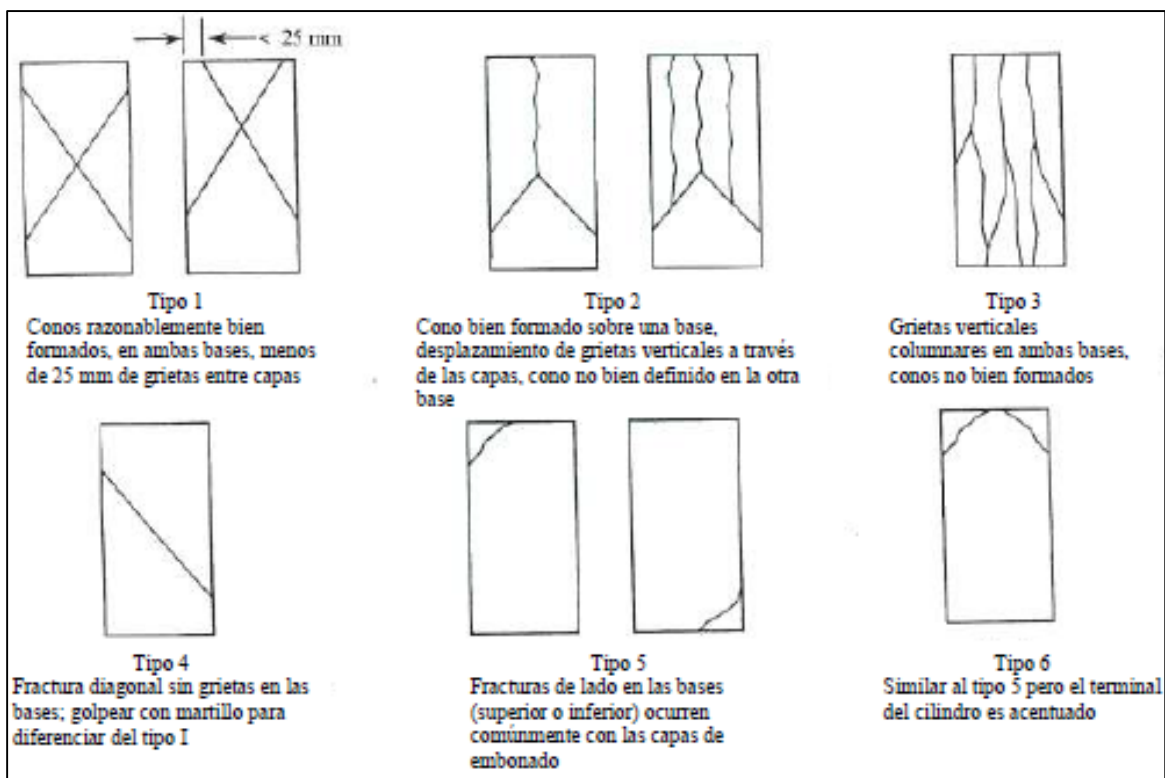


Figura 126 Tipos de falla de muestras ensayas a compresión

Fuente: [34]

Tabla 31 Rango de tolerancias para especímenes de 6"x12"

Un solo operador	Coefficiente de variación	2 Resultados	3 Resultados
Laboratorio	2.37%	6.6%	7.8%
Campo	2.87%	8.0%	9.5%

Fuente: [34]



Figura 127 Falla columnar y cono M-15



Figura 128 Falla cono y corte M-14



Figura 129 Fallar columnar M-13



Figura 130 Fallar columnar M-12



Figura 131 Fallar columnar M-11



Figura 132 Falla cono y corte M-10

C) Resistencia a la flexión del concreto en vigas cargadas simplemente apoyadas con cargas a los tercios NTP 339.078.

El ensayo determina el módulo de rotura por medio de una viga simplemente apoyada con cargas al tercio y dos tercios de la luz de la viga.

(1) Equipos y materiales

- Máquina de ensayo
- Bloques de carga
- Platos de carga
- Vigas de 6"x6"x20"

(2) Procedimiento

Se gira la viga sobre un lado con respecto a su posición de moldeo y se centra entre los bloques de carga.

Se ponen los bloques de carga sobre los tercios de la viga.

La carga se aplica de manera continua sin sobresaltos a una velocidad entre 0.9 Mpa/min y 1.2 Mpa/min hasta la rotura.

Se efectúa el cálculo del módulo de rotura del espécimen.

Si la fractura se da en tensión a dentro del tercio medio de la luz libre de la viga se utiliza la siguiente formula:

Ecuación 53 Módulo de rotura para falla en el tercio central

$$R = \frac{PL}{BD^2}$$

Fuente: [36]

Si la fractura se da en tensión fuera del tercio medio de la luz libre de la viga se utiliza la siguiente formula:

Ecuación 54 Módulo de rotura para falla fuera del tercio central

$$R = \frac{3Pa}{BD^2}$$

Fuente: [36]

- R: Modulo de rotura kg/cm²
- P: Máxima carga aplicada por la máquina de ensayo kg
- L: Longitud libre entre apoyos en metros
- B: Ancho promedio de la muestra en metros
- D: Espesor de la muestra
- a: Distancia promedio entre la línea de fractura el soporte más cercano, medida sobre la zona de tensión en metros

Si la fractura se da en la zona de tensión y fuera del tercio medio de la luz en más del 5% de la luz libre, no se toma en cuenta los resultados obtenidos.

(3) Precisión

Los resultados de dos ensayos realizados por un mismo operador sobre una misma tanda no deberán diferir uno del otro en más del 16%.



Figura 133 Enrasado de vigas prismáticas



Figura 134 Compactación de vigas prismáticas



Figura 135 Rotura de viga en el tercio central M-15



Figura 136 Ubicación del tramo central en vigas para ensayo

D) Ensayo de permeabilidad ACI 522 R-10

La característica más importante del concreto permeable es su capacidad de filtrar agua a través de su estructura. La permeabilidad del concreto se mide con un permeámetro de caída variable.

La teoría e implementación del ensayo se encuentra en la norma ACI-522R y fue desarrollada en el capítulo 2.2.4.1 Permeámetros donde se detalla el funcionamiento,

elaboración y procedimiento del ensayo para determinar el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable.



Figura 137 Probeta M-15 sellada con celofán



Figura 138 Ensayo con el permeámetro de carga variable

(1) Equipos y materiales

-Permeámetro de carga variable, probeta y cronometro.

(2) Procedimiento

Se envuelve el espécimen con látex u otro material impermeable para evitar la pérdida de agua por las caras laterales.

Se agrega agua al cilindro graduado para llenar la celda del espécimen y la tubería de drenaje.

La muestra se acondiciona permitiendo que el agua drene a través de la tubería hasta que el nivel en el cilindro graduado sea el mismo que la parte superior de la tubería de drenaje. Esto minimiza cualquier bolsa de aire en la muestra y asegura que la muestra esté completamente saturada.

Con la válvula abierta se llena el permeámetro hasta lograr que salga agua por el tubo de 1 1/2".

Se cierra la válvula y se llena el tubo graduado hasta la altura inicial del ensayo.

Luego se abre la válvula y se mide el tiempo en segundos t requerido para que el agua caiga desde un cabezal inicial h_1 a un cabezal final h_2 .

Se calcula la permeabilidad con la ecuación de Darcy para permeámetro de carga variable.

Ecuación 55 Conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad

$$K = \frac{L \times A_1}{T \times A_2} \times \ln\left(\frac{H_2}{H_1}\right)$$

Fuente: [28]

- K: Coeficiente de permeabilidad cm/s
- L: Longitud de la muestra en cm.
- T: Tiempo que demora en descender la altura de agua en segundos.
- A1: Área del tubo de ensayo en cm².
- A2: Áreas de la muestra de ensayo en cm²
- H1: Altura inicial de agua en el tubo de ensayo en cm.
- H2: Altura final del agua en el tubo de ensayo en cm.

E) Resistencia a la degradación del concreto permeable por abrasión e impacto NTP 339.239

Este ensayo describe la metodología para determinar la resistencia potencial a la degradación de distintos diseños de concreto permeable por impacto y abrasión con agregado grueso de TMN menor o igual a los 25mm. Sin embargo, no establece ninguna relación entre las fallas del concreto y las causas que originan dichas fallas, por tanto, los resultados obtenidos mediante este ensayo no deben tomarse en cuenta para la aceptación o rechazo de una mezcla de concreto permeable. [49]

En consecuencia, el ensayo solo es útil para evaluar los distintos potenciales de abrasión de un conjunto de mezclas controladas en laboratorio y no para establecer las causas de la falla por abrasión.

El ensayo se resume a la elaboración de tres probetas cilíndricas de 100 mm de diámetro por 100 mm de altura por cada diseño, las cuales son vaciadas y curadas por 7 días en moldes plásticos para posteriormente ser sometidas a acciones de impacto y abrasión por la Máquina de los Ángeles. A diferencia del ensayo para determinar la abrasión en el agregado grueso, en este no se emplean esferas de metal y las acciones mecánicas son generadas por el contacto de las tres probetas al girar dentro de la Máquina de los Ángeles. Finalmente, el potencial de

abrasión se mide como un porcentaje de la masa resultante después del ensayo respecto a la masa inicial de las tres probetas.

(1) Equipos y materiales

- Balanza con capacidad mínima de 2.5kg y exactitud de un 1 g.
- Martillo Marshall
- Moldes de plástico cilíndricos de 100 mm de diámetro por 200 mm de altura.
- Cinta métrica o regla con un mínimo de 30cm de largo.
- Máquina de los Ángeles
- Tamices de acuerdo a la norma NTP 334.170.
- Cucharon para vaciar el concreto permeable en las probetas metálicas.
- Bandejas y recipientes para acumular el material desprendido durante el ensayo.

(2) Procedimiento

Calcular la cantidad necesaria de materiales para llenar tres probetas cilíndricas con concreto permeable hasta una altura de 100mm teniendo en cuenta su respectivo desperdicio.

Pesar los moldes vacíos para tarar su masa evitando cualquier perturbación externa sobre la balanza.

Llenar los moldes con concreto permeable por medio de una cuchara procurando obtener una masa con una variación máxima de 5g.

Soltar cada molde diez veces de una altura entre 13mm y 37mm con el objetivo de obtener una superficie horizontal y rígida.

Utilizar el Martillo Marshall para obtener la altura de 100 mm con un error máximo de 2mm. En caso de trate de una mezcla adecuadamente compactada o rígida dejar caer la masa del martillo desde altura total de caída del mismo hasta obtener los 100mm. Si se tratase de una mezcla ligeramente compactada o trabajable dejar caer la masa del martillo desde la mitad a la tercera parte de la caída del mismo.

Se debe registrar el número de golpes necesarios para obtener los 100 mm en cada espécimen con el objetivo de establecer una comparación entre ellos. Si se emplearan menos golpes en un espécimen se debe descartar el espécimen y volver a realizar la compactación.

Culminado el vaciado de los tres moldes se procede a pesarlos para determinar su densidad en estado seco y posteriormente se coloca una bolsa o tapa hermética sobre el molde para evitar la pérdida de agua durante el curado.

El curado inicial comprende las primeras 48 horas después de vaciados los especímenes, durante este tiempo no deben transportarse los moldes y la temperatura de su almacenamiento deberá estar en un rango de 16°C a 27°C.

El curado final dura 7 días desde vaciado los molde y debe realizarse sin retirar los las bolsas o tapas herméticas de los moldes.

Completado el curado se deben desmoldar los especímenes limpiando cualquier presencia de humedad o polvo para proceder a obtener la masa de los tres especímenes, la cual pasara a ser la masa inicial.

Después de 30 minutos de desmoldados, los 3 especímenes se colocan dentro de la Máquina de los Ángeles haciéndose rotar a una frecuencia de 30 rpm a 33 rpm por 500 rpm.

Tamizar la masa resultante por la malla de 25mm, y registrar el material retenido en dicha malla.

(3) Precisión

Las experiencias previas obtenidas en laboratorios donde se implementó el ensayo han determinado porcentajes de abrasión comprendido entre el 19% y 95%.



Figura 139 Compactación de muestras

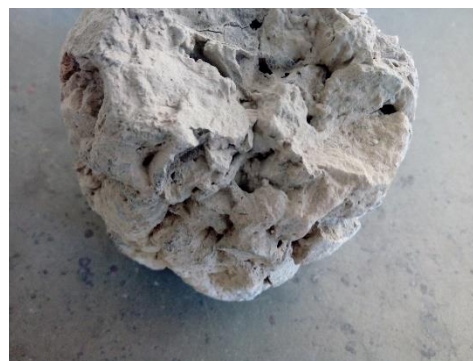


Figura 140 Muestra M-14 ensayada



Figura 141 Tamizado de las muestras ensayadas por abrasión



Figura 142 Muestras M-15 ensayada en la Máquina de los Ángeles

3.7 Técnicas

3.7.1 Técnicas para la recolección de datos

Observación directa: Se realiza la observación directa de ciertas variables como la trabajabilidad, consistencia, exudación, segregación y asentamiento del concreto.

Experimentos: Se evidencian mediante la manipulación de las variables en diversos ensayos como el de compresión, flexión y permeabilidad para definir el comportamiento del concreto permeable.

Análisis de contenido: Interpretación de la información recopilada mediante la búsqueda de distintos antecedentes, teorías y conceptos en revistas, libros, tesis, etc.

3.7.2 Técnicas para el procesamiento de datos

Los datos obtenidos de los distintos ensayos en laboratorio se procesarán empleando los formatos brindados en el laboratorio donde se realizarán los ensayos y los propios en el caso del ensayo de permeabilidad donde se implementará el ensayo y la fabricación de permeámetro de caída simple.

- Formato para ensayo de granulometría de agregados.
- Formato para ensayo de contenido de humedad de agregados.
- Formato para ensayo de absorción de los agregados.
- Formato para ensayo de peso unitario de los agregados.
- Formato para ensayo de peso específico de agregado grueso.
- Formato para ensayo de peso específico de agregado fino.
- Formato para resistencia al desgaste de agregados por la máquina de los ángeles.
- Formato para ensayo de reactividad álcali sílice de los agregados.
- Formato para ensayo de impurezas orgánicas en el agregado fino.
- Formato para el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams.
- Formato para el ensayo de peso unitario en estado fresco del concreto.
- Formato para el ensayo de contenido de aire en estado fresco del concreto.
- Formato para el ensayo de contenido de vacíos por el método de presión.
- Formato para resistencia a compresión de las probetas de concreto.
- Formato para resistencia a flexión de las probetas de concreto.
- Formato para determinar la permeabilidad de las probetas de concreto.
- Formato peso unitario en estado endurecido del concreto permeable.
- Formato para contenido de vacíos en estado endurecido del concreto permeable.
- Formato para resistencia al impacto y abrasión en el concreto permeable.

3.8 Procedimientos

La siguiente tesis cuenta con un cronograma en el cual se detallan la secuencia de las actividades realizadas durante el tiempo del proyecto.

Primero, se realiza una recopilación de antecedentes y experiencias acumuladas en otras investigaciones sobre el concreto permeable con el fin de contar con una base teórica sólida que nos permita llevar a cabo la tesis.

A continuación, se hace un estudio de las canteras cercanas a la zona del proyecto de las cuales obtendremos los agregados para el desarrollo de la tesis. Se realizó los estudios al agregado fino y grueso con el fin de determinar sus propiedades mecánicas, así como evaluar si cumplen los requisitos para elaborar con ellos el concreto permeable.

Una vez conocido las propiedades de los componentes del concreto permeable, se diseñaron 8 muestras patrón con el fin de determinar la relación agua/cemento óptimo y las propiedades en estado fresco para desarrollar el concreto permeable, y así poder evaluar nuestras variables principales.

Con el contenido óptimo de agua/cemento se diseñaron las 15 mezclas principales de la investigación. Estas mezclas fueron evaluadas en estado fresco determinando temperatura, contenido de vacíos, asentamiento y peso unitario. También, se les evaluó en estado endurecido para obtener su resistencia a compresión, resistencia a flexión y permeabilidad.

Después, se elaboró un permeámetro de carga variable de acuerdo a la norma ACI-522R con el fin de determinar el coeficiente de permeabilidad de nuestra muestra.

A continuación, se realizó un trabajo de gabinete consolidando los datos obtenidos y haciéndoles una evaluación estadística para por obtener ordenar nuestros resultados.

Finalmente, se esbozaron las conclusiones llegadas durante el desarrollo de la tesis y se elaboró un plan de manejo ambiental.

3.9 Plan de procesamiento y análisis de datos

La presente investigación cuenta con 6 fases.

FASE I

- Recopilación de bibliografía.
- Revisión de la normativa nacional e internacional vigente.
- Trabajo de gabinete con la información obtenida.

FASE II

- Obtención de los materiales.

- Ensayos de laboratorio para los agregados.
- Trabajo de gabinete.
- Revisión parcial del asesor.

FASE III

- Diseño de mezclas de prueba con variables intervinientes.
- Ensayos de asentamiento del concreto.
- Ensayos de densidad y contenido de aire del concreto.
- Ensayo de compresión a los 7 días del concreto.
- Trabajo de gabinete con los resultados obtenidos.

FASE IV

- Diseño de mezclas con las variables principales.
- Ensayos para determinar el asentamiento, el contenido de vacíos, densidad y temperatura del concreto.
- Ensayos para determinar la resistencia a la compresión, flexión, permeabilidad y abrasión del concreto.
- Ensayo para determinar la densidad y el contenido de vacíos del concreto permeable en estado endurecido.

FASE V

- Trabajo de gabinete con los resultados obtenidos
- Análisis de resultados obtenidos
- Revisión parcial del asesor
- Conclusiones y recomendaciones
- Elaboración final del proyecto

FASE VI

- Presentación del proyecto final al jurado
- Levantamiento de observaciones
- Definición de fecha y sustentación final

3.10 Matriz de consistencia

Tabla 32 Matriz de consistencia

Problema de la Investigación	¿De qué forma influye la utilización de diferentes porcentajes de agregado fino y el uso del aditivo SikaCem Plastificante en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable en estado fresco y endurecido?
Objetivos	<p>Objetivo General: Determinar la influencia de usar diferentes porcentajes de agregado fino y el aditivo SikaCem Plastificante en las propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable.</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Determinar las propiedades mecánicas del agregado fino y grueso empleado en la fabricación del concreto permeable. -Determinar las propiedades mecánicas del concreto permeable en estado fresco: asentamiento, temperatura, densidad y contenido de aire. -Evaluar las propiedades mecánicas del concreto permeable en estado endurecido de acuerdo a los requisitos de compresión y flexión para ser usado como capa de rodadura de acuerdo a la norma C010 Pavimentos Urbanos. -Evaluar las propiedades hidráulicas del concreto permeable en estado endurecido de acuerdo a los requisitos de permeabilidad para afrontar intensidades de lluvia presentadas en el Fenómeno del Niño del año 1998.
Hipótesis	La adición de agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante a las mezclas de concreto permeable mejora sus propiedades mecánicas e hidráulicas.
Variables	<ul style="list-style-type: none"> - Variables Independientes: Contenido de agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante. - Variables Dependientes: Propiedades mecánicas e hidráulicas del concreto permeable.
Metodología	La investigación es experimental. Esto debido a la manipulación intencional de variables para cumplir el objetivo general y los objetivos específicos.
Técnicas y Herramientas	Observación Científica, Implementación de Ensayos en Laboratorio y Análisis de resultados
Población y Muestra	<p>Población: Especímenes de concreto permeable</p> <p>Muestra: 90 probetas de 6" x 12", 30 probetas de 4"x8", 60 probetas de 4"x4" y 60 vigas de 6x"6"x22"</p>

3.11 Consideraciones éticas

Los aspectos éticos se reflejan en la citación de todas las investigaciones que han sido tomadas como referencia para el desarrollo de la tesis, así como la presentación de los ensayos debidamente firmados por el técnico laboratorista del lugar donde se realizaron.

A ello se suma, la evidencia fotográfica de los resultados obtenidos y del proceso de desarrollo de los ensayos realizados en esta esta tesis.

IV. Resultados

4.1. Propiedades del agregado fino utilizado

El agregado fino utilizado proviene de la cantera Pátapo ubicada en la Pampa La Victoria a 30 kilómetros de la ciudad de Chiclayo.

Tabla 33 Resumen de las propiedades del agregado fino

Propiedades	Resultados	Límite
Material más fino que la malla N°200	1.26 %	Máximo: 3.00 %
Módulo de fineza	2.627	Rango: 2.3 a 3.1
Mayor porcentaje retenido en un tamiz	29.00 %	Máximo: 45.00 %
Terrones de arcilla	2.76 %	Máximo: 3.00 %
Contenido de humedad abril	0.85 %	-----
Contenido de humedad setiembre	0.99 %	-----
Peso específico seco	2.557 g/cm ³	-----
Peso específico sss	2.583 g/cm ³	-----
Absorción	1.01 %	-----
Peso unitario suelto seco	1578 kg/m ³	-----
Peso unitario compactado seco	1800 kg/m ³	-----
Reactividad álcali sílice	No reactivo	-----
Impurezas orgánicas	No contiene	-----
Angularidad (% vacíos no compact.)	44.8 %	-----

A) Material más fino que pasa la malla N°200 en el agregado fino

A continuación, se muestra el porcentaje de material más fino que pasa la malla N°200 determinado por un tamizado húmedo de acuerdo a la norma NTP 400.018.

Tabla 34 Porcentaje de material más fino que la malla N°200 del agregado fino

Peso de la muestra seca	350.00 g
Peso de la muestra seca después del ensayo	346.63 g
Peso de material menos que la N° 200	3.37 g
Material más fino que la malla (N° 200) por vía húmeda	0.96%

Al porcentaje de 0.96% se le adicionó el 0.3% obtenido durante el análisis granulométrico, resultando un porcentaje de material más fino total que la malla N°200 igual a 1.26%.

. El agregado fino cumple con el límite de 3% de material más fino que la malla N°200 para concretos sujetos a abrasión señalado por la NTP 400.037.

La eficiencia de este ensayo se demuestra al haber obtenido un mayor porcentaje de finos durante el tamizado húmedo en relación al tamizado en seco del análisis granulométrico.

B) Granulometría del Agregado fino

En la determinación de la granulometría del agregado fino, se utilizó el material proveniente del ensayo para determinar el porcentaje de material más fino que pasa la malla N°200.

Tabla 35 Granulometría del agregado fino

Malla		Peso Ret.(g)	(% Ret.	(% Acum. Ret.	(% Acum. Que Pasa	ASTM C-33:	
Pulg.	(mm.)					Lim.Sup	Lim.Inf
1/2"	12.700	0.00	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 04	4.750	5.52	1.6	1.6	98.4	95	100
N° 08	2.360	33.52	9.7	11.3	88.7	80	100
N° 16	1.180	56.27	16.2	27.5	72.5	50	85
N° 30	0.600	74.33	21.4	48.9	51.1	25	60
N° 50	0.300	100.57	29.0	78.0	22.0	10	30
N° 100	0.150	60.57	17.5	95.4	4.6	2	10
N° 200	0.074	14.64	4.2	99.7	0.3	---	---
Fondo		1.21	0.3	95.8	4.2		
Módulo de Fineza				2.627			

Se obtuvo un módulo de fineza de 2.627, el cual se encuentra comprendido entre los límites de 2.3 y 3.1 señalados por la norma NTP 400.037.

Además, el mayor porcentaje retenido en un tamiz es de 29% y se da en el tamiz N°50 siendo menor al máximo señalado por la norma de 45%.

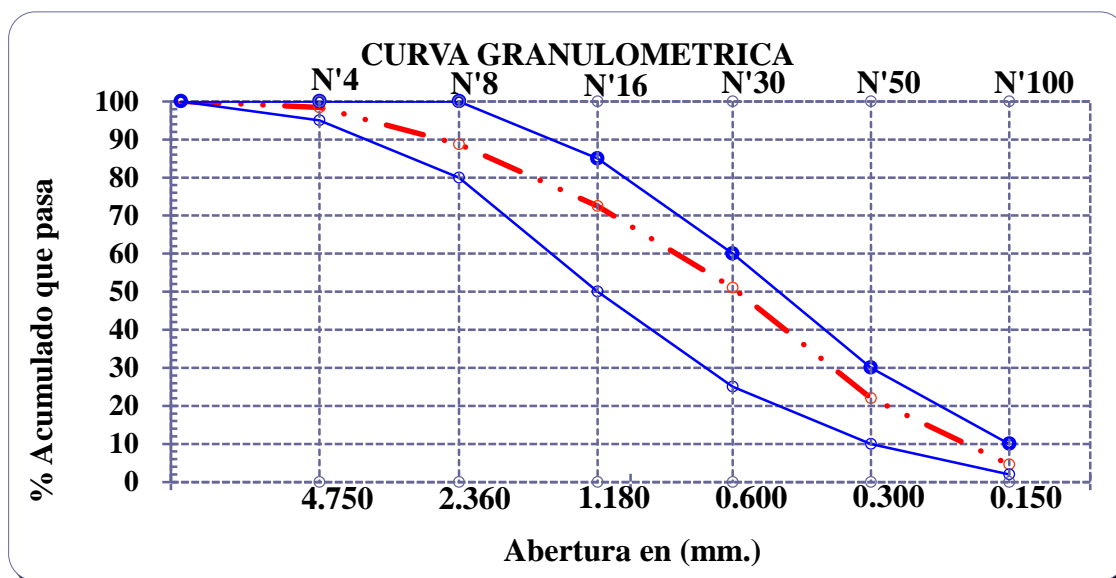


Figura 143 Curva Granulométrica del agregado fino

Se observa que el agregado fino proveniente de la Cantera de Pátapo cumple con los límites de gradación requerido por la NTP 400.037 y puede ser empleado en la fabricación del concreto permeable

C) Cantidad de terrones de arcilla y partículas desmenuzables del agregado fino

Se realizó el ensayo NTP 400.015 para determinar la cantidad de estas partículas en el agregado fino.

Para ello, del tamizado en seco se seleccionó los 56.27g retenidos en el tamiz N°16 para determinar la cantidad de terrones de arcilla y partículas desmenuzables del agregado fino.

A continuación, se muestra el cálculo de terrones de arcilla y partículas friables.

Tabla 36 Porcentaje de terrones de arcilla y partículas desmenuzables

Peso de la muestra de ensayo retenida sobre el tamiz N°16	57.51 g
Peso de la muestra retenida en el tamiz N°20 después del ensayo	55.92 g
Cantidad de terrones y partículas desmenuzables	1.59 g
Porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla	2.76%

El agregado fino cumple con el límite de 3% requerido por la norma NTP 400.037 y puede ser empleado en la elaboración de concretos permeables.

D) Contenido de humedad del agregado fino

A continuación, se muestra cálculo del contenido de humedad del agregado fino realizado en el mes de abril.

Tabla 37 Contenido de humedad del agregado fino en el mes de abril del 2019

Peso de la muestra humedad	500.00 g	500.00 g
Peso de la muestra seca	495.81 g	495.67 g
Contenido de humedad	0.84%	0.87%
Contenido de humedad (promedio)	0.85%	

Por otra parte, fue necesario vaciar probetas en el mes de setiembre para realizar ensayos de abrasión al concreto permeable, por ello, se volvió a calcular el contenido de humedad en dicho mes para verificar si las condiciones físicas del agregado habían cambiado.

Tabla 38 Contenido de humedad del agregado fino en el mes de setiembre del 2019

Peso de la muestra humedad	500.00 g	500.00 g
Peso de la muestra seca	494.91 g	495.23 g
Contenido de humedad	1.02%	0.95%
Contenido de humedad (promedio)	0.99%	

El contenido de humedad vario en 0.14% del mes de abril al mes de setiembre siendo una variación poco considerable y se debe principalmente a que el agregado se almaceno protegiéndolo de la intemperie cubriendo su superficie con plástico para evitar su alteración.

E) Peso específico y absorción del agregado fino

A continuación, se muestra el cálculo del peso específico y absorción del agregado fino.

Tabla 39 Datos empleados en el cálculo del peso específico del agregado fino

1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca. en g	500.0	500.0
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua. en g	945.9	984.7
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.(1+5) en g	639.7	678.0
4.- Peso del Agua. (2-3) en g	306.1	306.8
5.- Peso del Frasco en g	139.7	178.0
6.- Peso de la Muest. secada ahorno + Peso del frasco. (5+7) en g	579.9	585.2
7.- Peso de la Muest. seca en el horno. en g	495.0	495.0
8.- Volumen del frasco. en cm ³	500.0	500.0

Tabla 40 Peso específico y absorción del agregado fino

Resultados			Promedio
A.- Peso específico de la arena. $7/(8-4)$ en g/cm ³	2.553	2.562	2.557
B.- Peso específico de la masa s.s.s. $7/(7-4)$ en g/cm ³	2.579	2.588	2.583
C.- Peso específico aparente $7/((8-4)-(8-7))$ en g/cm ³	2.621	2.630	2.625
D.- Porcentaje de absorción. $((1-7)/7)*100$ en %	1.02	1.00	1.01

F) Peso unitario suelto y compactado del agregado fino

Tabla 41 Peso unitario suelto seco y húmedo del agregado fino

Descripción	A	B	Promedio
- Peso de la muestra húmeda g	8782	8790	8786
- Volumen del molde m ³	0.00552	0.00552	0.00552
- Peso unitario suelto húmedo kg/m ³	1591	1592	1592
- PESO UNIT. SUELTO SECO kg/m ³	1578	1579	1578

El ensayo se realizó varias veces con el fin de obtener una variación menor a los 40 kg/m³ señalados por la norma NTP 400.017. Los resultados difieren en 1 kg/m³ tanto para el peso unitario suelto húmedo y seco del agregado fino.

Tabla 42 Peso unitario compactado seco y húmedo del agregado fino

Descripción	A	B	Promedio
- Peso de la muestra húmeda g	10008	10038	10023
- Volumen del molde m ³	0.00552	0.00552	0.00552
- Peso unitario compactado húmedo kg/m ³	1813	1818	1816
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO kg/m ³	1798	1803	1800

Los resultados difieren en 5 kg/m³ tanto para el peso unitario compactado húmedo y peso unitario compactado seco del agregado fino.

G) Determinación de la reactividad agregado fino/álcali

Con la implementación del ensayo se pudo determinar para el agregado fino una concentración de sílice disuelta (Sc) de 27.25 mmol/L y una reducción de alcalinidad (Rc) de 25.80 mmol/L. Con estos datos, se ingresa al siguiente gráfico brindado por la norma ASTM C-289 o la NTP 334.099.

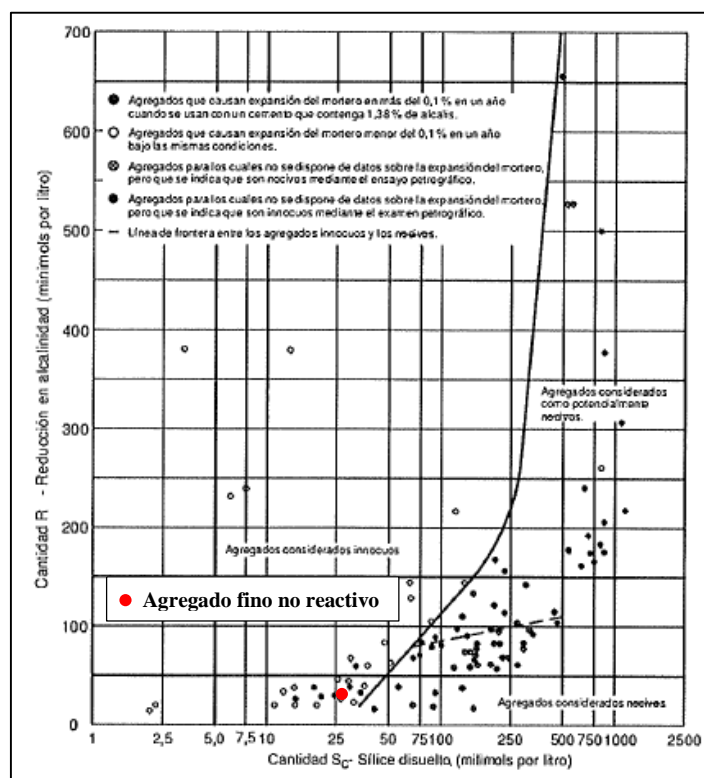


Figura 144 División de los agregados inocuos y potencialmente reactivos

Fuente: [54]

Del gráfico anterior, podemos ver que la combinación Sílice disuelto(Sc) y Reducción a la alcalinidad (Rc) clasifica al agregado grueso dentro del grupo agregados inocuos o no reactivos.

H) Determinación de las impurezas orgánicas del agregado fino

De acuerdo a lo sugerido en la norma NTP 400.024, no fue necesario la preparación de una sustancia estándar de referencia a base de dicromato de potasio disuelto en ácido sulfúrico, pues se empleó una placa de vidrio con los 5 colores para definir el contenido de impurezas orgánicas en el agregado fino.



Figura 145 Coloración de la sustancia en suspensión sobre el agregado fino

La coloración obtenida por la solución en suspensión sobre el agregado fino es igual al color Gardner Patrón N°1, siendo un tono más claro que el color estándar Gardner N°3. Por este motivo, el agregado fino empleado en la presente investigación no presenta impurezas orgánicas en cantidades significativas pudiéndose emplear de forma satisfactoria en el concreto permeable.

I) Angularidad o contenido de vacíos no compactados

A continuación, se muestra el cálculo del contenido de vacíos del agregado fino como una medida de la angularidad del mismo, utilizando el Método C descrito en la norma ASTM C1252 o MTC E222.

Tabla 43 Cálculo del contenido de vacíos no compactados (Angularidad)

Volumen molde	cc	932.0	932.0	932.0
Peso agregado fino empleado < 2.36 mm (N°8)	gr	1385.0	1377.0	1385.0
Peso específico del agregado fino N°8 – N°200	gr/cc	2.689	2.689	2.689
Volumen empleado para colmar el molde	cc	515.1	515.1	515.1
% Vacíos (angularidad del agregado fino)	%	44.7	45.1	44.7
Contenido de vacíos no compactados (Angularidad)		44.8 %		

El contenido de vacíos no compactados obtenido de 44.8% es superior a los valores mínimos de 30% para concretos asfálticos en empleados en vías locales y 40% en vías arteriales o expresas, según la norma CE 010.

El valor obtenido sugiere que el agregado fino empleado es angular y presenta una textura rugosa, en tanto, se concluye que se pueden mejorar las propiedades mecánicas del concreto permeable empleando mayor contenido de agregado fino o cemento en el diseño de mezcla del concreto.

4.2 Propiedades del agregado grueso utilizado

Para la selección del agregado grueso se seleccionaron materiales provenientes de la Cantera La Victoria ubicada en el distrito de Pátapo y la Cantera Tres Tomas ubicada en el distrito de Mesones Muros.

A ambos agregados se les realizó un análisis granulométrico encontrando que ambos agregados pertenecían al Huso N°67 pudiéndose emplear para la fabricación del concreto permeable.

En consecuencia, se decidió utilizar el agregado proveniente de la cantera La Victoria por ser la misma cantera de donde se obtuvo el agregado fino para la elaboración de especímenes de la presente tesis.

Tabla 44 Resumen de propiedades del agregado grueso

Propiedades	Resultado	Límite
Material más fino que la malla N°200	0.72 %	1.00 %
Granulometría	Huso 67	-----
Tamaño máximo nominal	3/4"	-----
Terrones de arcilla	0.89 %	5.00 %
Contenido de humedad abril	0.45 %	-----
Contenido de humedad setiembre	0.55 %	-----
Peso específico seco	2.801 g/cm ³	-----
Peso específico sss	2.824 g/cm ³	-----
Absorción	0.82 %	-----
Peso unitario suelto seco	1467 kg/m ³	-----
Peso unitario compactado seco	1609 kg/m ³	-----
Desgaste por abrasión	18.60 %	50.00 %
Reactividad álcali sílice	No reactivo	-----
Impurezas orgánicas	No contiene	-----
Partículas con 1 cara fracturada	94.6 %	80 %
Partículas con 2 cara fracturada	86.1 %	40 % - 75 %
Partículas chatas y alargadas	5.91 %	15 %
Índice de partícula	12.20 %	-----

A) Granulometría del Agregado Grueso

A continuación, se muestra la granulometría luego del tamizado en seco del agregado grueso proveniente de la cantera La Victoria.

Tabla 45 Granulometría del agregado grueso de La Victoria

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	ASTM C-33:	
Pulg.	(mm.)					Lim.Sup	Lim.Inf
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/4"	19.00	462.0	9.3	9.3	90.7	100	90
1/2"	12.70	1510.0	30.3	39.6	60.4	---	---
3/8"	9.52	1374.0	27.6	67.2	32.8	20	55
N° 04	4.75	1337.0	26.9	94.1	5.9	10	0
N° 08	2.36	199.2	4.0	98.1	1.9	5	0
N° 16	1.19	55.5	1.1	99.2	0.8	---	---
Fondo		39.8	0.8	100.0	0.0		
T.M.			1"	25.00	Huso Granulométrico 67		
T.M.N.			3/4"	19.00			

A continuación, se grafica la gradación del agregado grueso de la Cantera La Victoria con los límites del Huso N°67 dados en la norma NTP 400.037.

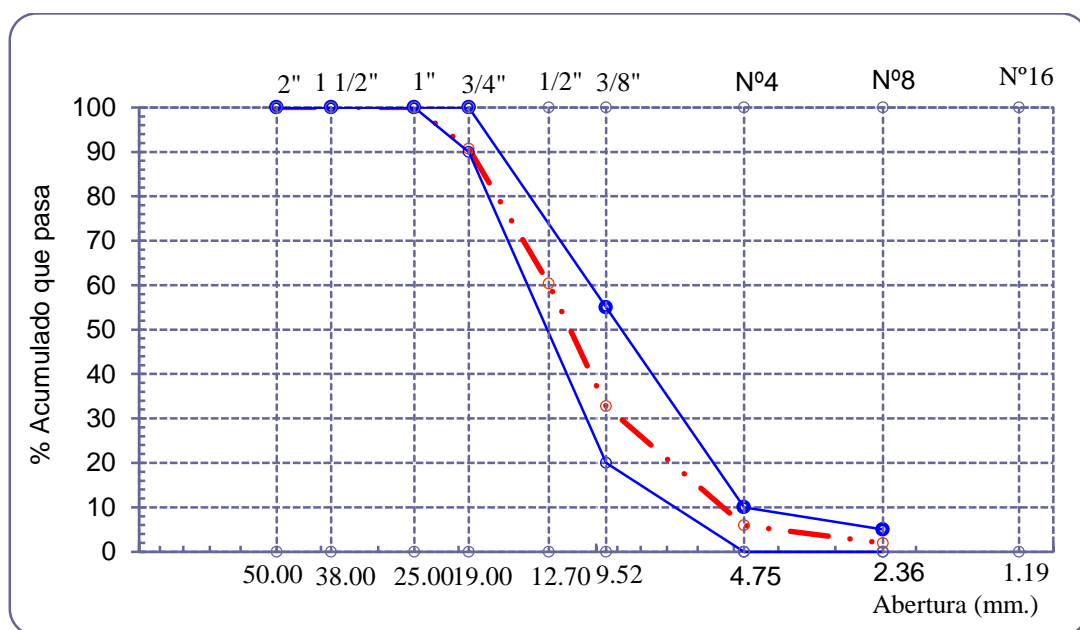


Figura 146 Curva Granulométrica del agregado grueso de La Victoria

Se observa que el agregado grueso proveniente de la Cantera de La Victoria cumple con los límites de gradación requerido del Huso 67 dados por la NTP 400.037 y puede ser empleado en la fabricación del concreto permeable.

A continuación, se muestra la granulometría del agregado de la cantera Tres Tomas.

Tabla 46 Granulometría del agregado grueso de la cantera Tres Tomas

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	ASTM C-33:	
Pulg.	(mm.)					Lim.Sup	Lim.Inf
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/4"	19.00	488.0	9.8	9.8	90.2	100	90
1/2"	12.70	1459.0	29.3	39.1	60.9	---	---
3/8"	9.52	1201.0	24.1	63.3	36.7	20	55
N° 04	4.75	1504.0	30.2	93.5	6.5	10	0
N° 08	2.36	229.9	4.6	98.1	1.9	5	0
N° 16	1.19	49.8	1.0	99.1	0.9	---	---
Fondo		44.7	0.9	100.0	0.0		
T.M.			1"	19.00	Huso Granulométrico 67		
T.M.N.			3/4"	12.70			

A continuación, se grafica la gradación del agregado grueso de la Cantera Tres Tomas con los límites del Huso N°67 dados en la norma NTP 400.037.

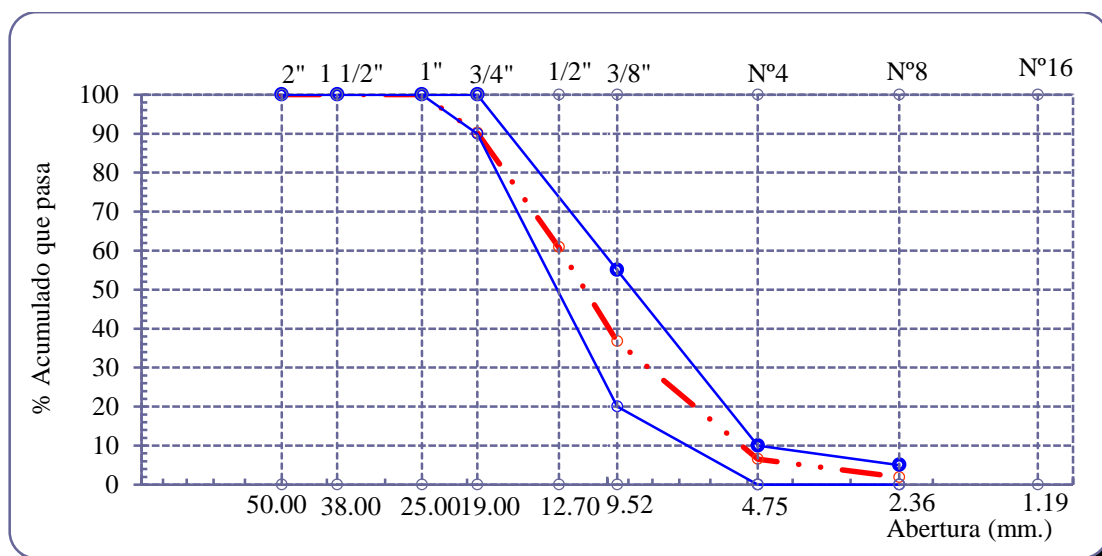


Figura 147 Curva Granulométrica del agregado grueso de la Cantera Tres Tomas

Se observa que el agregado grueso proveniente de la Cantera de Tres Tomas cumple con los límites de gradación requerido del Huso 67 dados por la NTP 400.037 y puede ser empleado en la fabricación del concreto permeable.

Como ambos agregados cumplen con los requisitos de gradación para el Huso 67 y pueden ser usados en la fabricación de concreto permeable, se decidió utilizar el agregado de la Cantera La Victoria por ser la Cantera de donde se obtuvo el agregado fino.

En adelante todos los ensayos realizados al agregado grueso están referidos al agregado proveniente de la Cantera La Victoria.

B) Material más fino que pasa la malla N°200 en el agregado grueso

El tamizado en húmedo se realizó por separado del análisis granulométrico utilizando 2500 kg de muestra.

A continuación, se muestra el porcentaje de material más fino que pasa malla N°200 en el agregado grueso.

Tabla 47 Porcentaje de material más fino que la malla N°200 del agregado grueso

Peso de la muestra seca antes del ensayo	2500 g
Peso de la muestra seca después del ensayo	2482 g
Peso de material menos que la N° 200	18 g
Material más fino que la malla (N° 200) por vía húmeda	0.72%

La norma NTP 400.037 señala el porcentaje de 1% como límite de material más fino que la malla N°200 para agregados grueso, cumpliéndose con este requisito.

C) Cantidad de terrones de arcilla y partículas desmenuzables del agregado grueso

Para este ensayo, se tamizo el agregado grueso con el fin de obtener las cantidades mínimas retenidas en los tamices N°4, 3/8" y 3/4" indicadas en la norma.

A continuación, se muestra las cantidades seleccionados según el tamiz de retención.

Tabla 48 Tamizado del agregado grueso para el ensayo de terrones

Mallas Pasa	Retiene	Peso retenido(g)	% retenido	Peso Mínimo (g)
Mayor a 1 1/2"	1 1/2"	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	3/4"	3115.0	17.0	3000.0
3/4"	3/8"	9701.0	53.0	2000.0
3/8"	N°4	5498.0	30.0	1000.0
Total		18314.0	100.0	6000.0

El agregado grueso retenido en el tamiz de 3/4" representa más del 5% de la cantidad total del agregado, por tanto, también se considera para este ensayo; siendo necesario tamizar aproximadamente 18kg para obtener la cantidad mínimas requeridas por la norma.

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de terrones y partículas desmenuzables del agregado grueso.

Tabla 49 Porcentaje de terrones y partículas desmenuzables en el agregado grueso

Tamaño de las partículas de la muestra	N°4 a 3/8"	3/8" a 3/4"	3/4" a 1 1/2"	Mayor 1 1/2"
Peso de la muestra de ensayo retenida	1000.00 g	2000.00 g	3000.00 g	0.00 g
Peso de la muestra retenida en el tamiz N°4 o N°8	987.00 g	1968.00 g	2990.00 g	0.00 g
Cantidad de terrones y partículas desmenuzables	13.00 g	32.00 g	10.00 g	0.00 g
% de partículas desmenuzables y terrones de arcilla	1.30%	1.60%	0.33%	0.33%
% promedio de partículas desmenuzables y terrones de arcilla	0.89%			

En el caso de no contar con agregado de un tamaño como el agregado mayor a 1 1/2", el porcentaje de terrones se considera igual al tamaño de partícula más cercano para el promedio de la cantidad de terrones.

El agregado grueso contiene un porcentaje de 0.89% de terrones de arcilla y partículas desmenuzables, cumpliendo el límite de 5% requerido por la norma NTP 400.037.

D) Contenido de humedad del agregado grueso

La determinación del contenido de humedad del agregado grueso se realizó con el material empleado en el ensayo de granulometría debido a que la cantidad mínima para este ensayo es de 3000 g para agregados con tamaño máximo nominal de 3/4".

A continuación, se muestra el contenido de humedad del agregado grueso.

Tabla 50 Contenido de humedad del agregado grueso en el mes de abril

Peso de la muestra humedad	5000 g
Peso de la muestra seca	4978 g
Contenido de humedad	0.45 %

Por otra parte, fue necesario vaciar probetas en el mes de setiembre del 2019 para realizar ensayos de abrasión, por ello se volvió a calcular el contenido de humedad en dicho mes para verificar si las condiciones físicas del agregado habían cambiado.

Tabla 51 Contenido de agregado grueso en el mes de setiembre

Peso de la muestra humedad	3000.00 g	3000.00 g
Peso de la muestra seca	2982.00 g	2985.00 g
Contenido de humedad	0.60%	0.50%
Contenido de humedad (promedio)	0.55 %	

El contenido de humedad vario en 0.10% del mes de abril al mes de setiembre siendo una variación poco considerable y se debe principalmente a que el agregado se almaceno protegiéndolo de la intemperie cubriendo su superficie con plástico para evitar su alteración.

E) Peso específico y absorción del agregado grueso

A continuación, se muestra los datos empleados en el cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso.

Tabla 52 Datos empleados en el cálculo del peso específico del agregado grueso

1.- Peso de la muestra seca al horno g	2988	2986
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca g	3012	3011
3.- peso de la muestra saturada dentro del agua + peso de la canastilla g	2837	2835
4.- Peso de la canastilla g	891	891
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua (3-4) g	1946	1944

Tabla 53 Peso específico y absorción del agregado grueso

Resultados			Promedio
A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA $1/(2-5) \text{ g/cm}^3$	2.803	2.799	2.801
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S. $2/(2-5) \text{ g/cm}^3$	2.826	2.822	2.824
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE $1/(1-5) \text{ g/cm}^3$	2.868	2.866	2.867
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN. $((2-1)/1)*100 \%$	0.80	0.84	0.82

F) Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

El siguiente ensayo se realizó varias veces con el fin de obtener una variación menor a los 40 kg/m³ señalados por la norma NTP 400.017.

A continuación, se muestra el cálculo del peso unitario suelto del agregado grueso.

Tabla 54 Peso unitario suelto seco y húmedo del agregado grueso

Descripción	A	B	Promedio
- Peso de la muestra húmeda g	8124	8130	8127
- Volumen del molde m ³	0.005516	0.005516	0.005516
- Peso unitario suelto húmedo kg/m ³	1473	1474	1473
- PESO UNIT. SUELTO SECO kg/m ³	1466	1467	1467

Los resultados difieren en 1 kg/m³ tanto para el peso unitario suelto húmedo y seco del agregado grueso.

A continuación, se muestra el cálculo del peso unitario compactado del agregado grueso.

Tabla 55 Peso unitario compactado seco y húmedo del agregado grueso

Descripción	A	B	Promedio
- Peso de la muestra húmeda g	8886	8946	8916
- Volumen del molde m ³	0.005516	0.005516	0.005516
- Peso unitario compactado húmedo kg/m ³	1611	1622	1616
- PESO UNIT. COMPACTADO SECO kg/m ³	1604	1614	1609

Los resultados difieren en 11 kg/m³ tanto para el peso unitario compactado húmedo y 10 kg/m³ para peso unitario compactado seco del agregado grueso.

G) Resistencia al desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de Los Ángeles

A continuación, se muestra la gradación realizada del agregado grueso para seleccionar el número de esferas de acero a usar durante el ensayo.

Tabla 56 Gradación del agregado para el ensayo en la máquina de Los Ángeles

Mallas Pasa	Retiene	Peso retenido(g)	% retenido	Método B
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	854.0	12.8	0.0
3/4"	1/2"	3012.0	45.3	2500.0
1/2"	3/8"	2783.0	41.9	2502.0
Total		6649.0	100.0	5002.0

A continuación, se muestra el desgaste por abrasión en la máquina de Los Ángeles.

Tabla 57 Porcentaje de desgaste por abrasión del agregado grueso

- Peso inicial antes del ensayo	5002.0 g
- Peso final después de las 500 revoluciones	4070.0 g
- % de desgaste por abrasión	18.6 %

El desgaste es de 18.6 % y resulta menor al 50% requerido por la norma NTP 400.037.

H) Determinación de la reactividad agregado grueso/álcali

A continuación, podemos ver la combinación Sílice disuelto y Reducción a la alcalinidad.

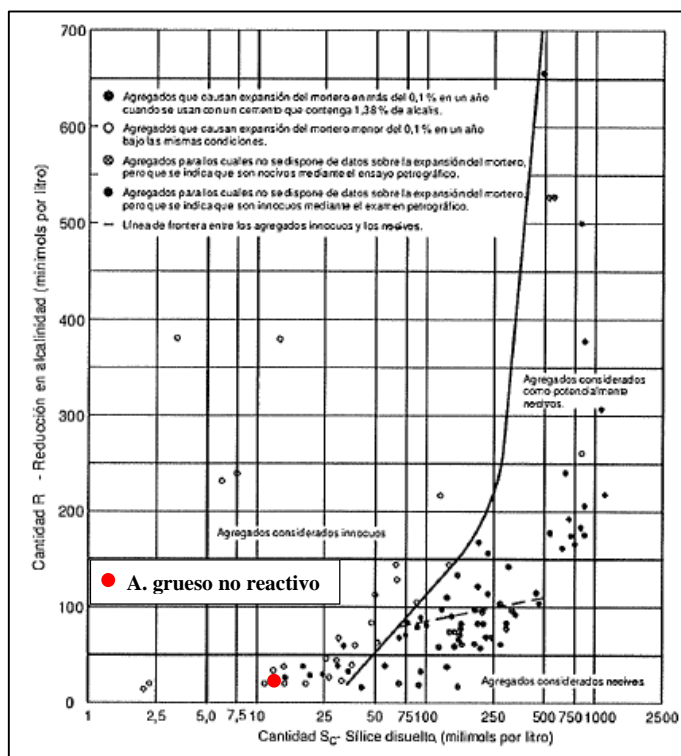


Figura 148 División de los agregados inocuos y potencialmente reactivos

Fuente: [54]

Con la realización del ensayo, se pudo determinar para el agregado grueso una concentración de sílice disuelta (S_c) de 13.60 mmol/L y una reducción de alcalinidad (R_c) de 11.85 mmol/L. Con estos datos, se ingresa al gráfico anterior brindado por la norma ASTM C-289 o la NTP 334.099, donde se clasifica al agregado grueso dentro del grupo agregados inocuos.

I) Cantidad de caras fracturadas en las partículas de agregado grueso

A continuación, se muestra el cálculo del porcentaje de partículas con una o más caras fracturadas para la muestra de agregado grueso.

Tabla 58 Partículas con unas o más caras fracturadas

Tamiz	Peso (g) Ret.	% Ret.	Peso inicial (g)	Peso con 1 cara fract.(g)	% caras fract.	% Prom. caras fract
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	1598.0	8.9	1500.0	1410.0	94.0	8.4
1/2"	8607.0	48.0	1200.0	1110.0	92.5	44.4
3/8"	7731.0	43.1	300.0	291.5	97.2	41.9
Total	17936.0	100.0	3000.0	Partículas con una o más caras fracturadas		94.6

El porcentaje de partículas con una o más caras fracturadas es de 94.6% para la muestra de agregado grueso. Este porcentaje, consigue superar el mínimo de 80% establecido en la norma CE 010 de Pavimentos Urbanos para agregados usados en bases granulares.

A continuación, se muestra el cálculo del porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas para la muestra de agregado grueso.

Tabla 59 Partículas con dos o más caras fracturadas

Tamiz	Peso (g) Ret.	% Ret.	Peso inicial (g)	Peso con 2 cara fract.(g)	% caras fract.	% Prom. caras fract
1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	1598.0	8.9	1500.0	1280.0	85.3	7.6
1/2"	8607.0	48.0	1200.0	960.0	80.0	38.4
3/8"	7731.0	43.1	300.0	278.9	93.0	40.1
Total	17936.0	100.0	3000.0	Partículas con dos o más caras fracturadas		86.1

El porcentaje de partículas con dos o más caras fracturadas es de 86.1% para la muestra de agregado grueso. Este porcentaje, consigue superar el mínimo de 40% establecido en la norma CE 010 de Pavimentos Urbanos para agregados usados en bases granulares a menos de 3000 msnm. Así mismo, supera el mínimo de 75% para agregados empleados en la elaboración de pavimentos de acuerdo a la norma ASTM D693.

En resumen, el agregado grueso empleado en la elaboración de concreto permeable presenta una textura rugosa y desarrolla una adecuada fricción entre partículas, aumentando la resistencia al impacto del concreto permeable.

J) Partículas chatas y alargadas

En la siguiente tabla, se muestra el cálculo del porcentaje de partículas chatas y alargadas.

Tabla 60 Partículas chatas y alargadas

MATERIAL			CHATAS		ALARGADAS	
Tamiz (Pulg)	Abertura (mm)	Retenido (%)	(%)	(%) Corregido	(%)	(%) Corregido
3"	76.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	19.05	8.6	7.3	0.6	0.0	0.0
1/2"	12.70	71.8	3.4	2.4	1.1	0.8
3/8"	8.75	19.6	8.2	1.6	2.5	0.5
			% Chatas:	4.7	% Alargadas:	1.3

El porcentaje de partículas chatas o alargadas es de 5.9 % para la muestra de agregado grueso. Este porcentaje, es menor al máximo permitido de 15% para agregados gruesos empleados en pavimentos según la norma ASTM D693.

En conclusión, el contenido de partículas chatas y alargadas del agregado grueso empleado en la elaboración del concreto permeable está limitado a los estándares. Por tanto, el esfuerzo requerido para la consolidación y colocación no se ven afectados por el agregado, sino por la poca cantidad de agregado fino o la baja relación agua/cemento del concreto permeable.

K) Índice de forma y textura (Índice de partícula) del agregado grueso

En la siguiente tabla, se muestra el cálculo del índice de forma y textura del agregado grueso.

Tabla 61 Cálculo del índice de forma y textura del agregado grueso

T.M.N	W ₁₀ (g)	W ₅₀ (g)	V (cm ³)	P.E	Gradación (%)	Id (%)	Id pond. (%)
1/2"	4525.0	4932.0	3030.0	2.642	36.9	12.7	4.70
3/8"	4520.0	4963.0	3030.0	2.647	29.2	13.0	3.80
N°4	4671.0	5080.0	3030.0	2.649	23.1	11.1	2.56
N°8	4738.0	5178.0	3030.0	2.655	10.8	10.5	1.13
Índice de forma y textura ponderado del agregado grueso							12.20

El índice de forma y textura de 12.20 % es superior al valor de 6% característico en agregados redondeados con textura lisa según el reporte 405 NCHRP, por tanto, se concluye que el agregado empleado es angular y presenta una textura rugosa. [70]

4.3 Evaluación de las propiedades en estado fresco de las mezclas de prueba (MP)

Se realizaron 8 mezclas de prueba con el fin de evaluar sus propiedades en estado fresco y su resistencia a la compresión a una edad de 7 días. Las mezclas de prueba sirvieron para decidir la relación de agua/cemento a usar, además, de verificar el cumplimiento de las tablas de diseño dadas en la norma ACI 522 R y de ser necesario realizar ajustes a las proporciones de diseño cuando se evaluaron las mezclas experimentales.

A) Asentamiento de las mezclas de prueba (MP)

A continuación, se muestra el asentamiento medido a las 8 mezclas de prueba.

Tabla 62 Asentamiento de las mezclas de prueba (MP)

Nº	IDENTIFICACIÓN	Slump (cm)
MP-1	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	1.0
MP-2	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	1.2
MP-3	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	1.2
MP-4	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	1.5
MP-5	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	0.0
MP-6	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	0.0
MP-7	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	0.0
MP-8	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	1.0

Las 8 mezclas de prueba presentan un asentamiento inferior a 1/2" (1.5cm) por tanto son consideradas como concretos no plásticos de acuerdo a la norma NTP 339.035.

Las mezclas de prueba MP-5, MP-6 y MP-7 no presentan asentamiento, esto se debe principalmente a la baja relación agua/cemento y la poca cantidad de aditivo empleado en estas mezclas.

En las mezclas de prueba MP-2, MP-4 y MP-8 pese a tener un asentamiento inferior a la 1/2" se evidenció un aumento de la trabajabilidad durante el proceso de compactación con la varilla de hierro, pues el concreto se acomodó con mayor facilidad al molde de ensayo.

A continuación, se muestra la variación del asentamiento medido a las 8 mezclas de prueba.

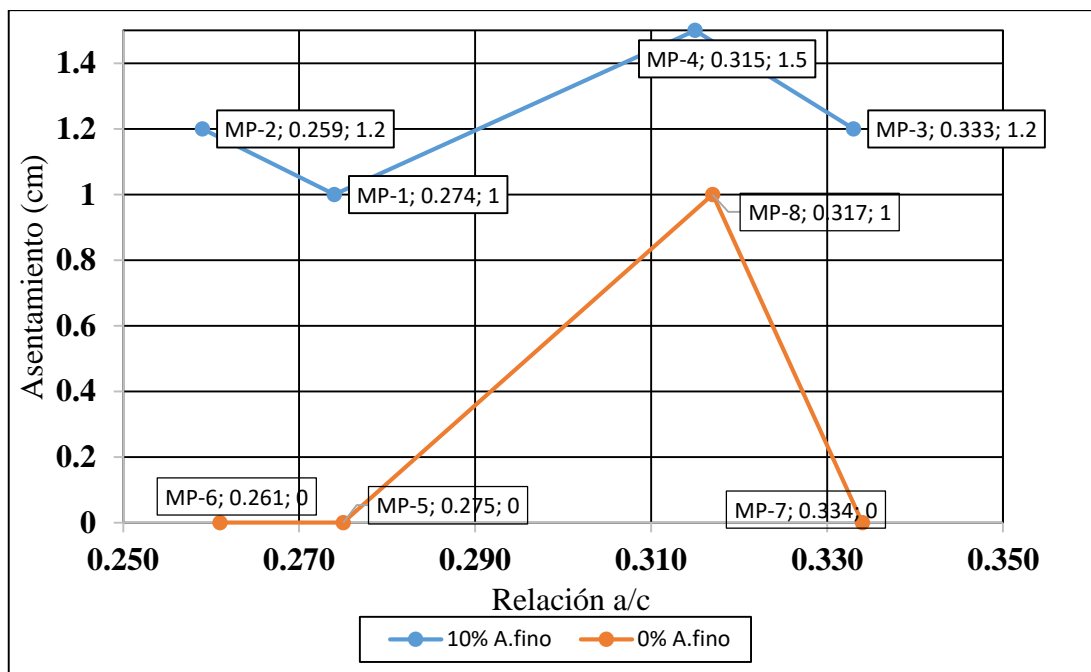


Figura 149 Asentamiento en las mezclas de prueba

B) Temperatura de las mezclas de prueba

La temperatura mínima de los concretos empleados en secciones con dimensiones menores 30 cm, siendo este el caso de los concretos permeables usados en aceras, pasos peatonales o pavimentos de bajo tránsito; es de 13°C en climas fríos y la temperatura máxima para los concretos en general es de 32°C en climas cálidos de acuerdo a la norma la NTP 339.114. [52]

En la siguiente tabla se muestra la temperatura de las mezclas de prueba.

Tabla 63 Temperatura de las mezclas de prueba

Nº	IDENTIFICACIÓN	Temp. (°C)
MP-1	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	24.8
MP-2	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	24.0
MP-3	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	24.1
MP-4	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	23.9
MP-5	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	23.9
MP-6	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	24.0
MP-7	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	24.6
MP-8	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	24.0

La temperatura mínima registrada es 23.9 °C y corresponde a las mezclas MP-4 y MP-5. La temperatura máxima registrada es 24.8 °C y corresponde a la mezcla MP-1. En todos los casos

las mezclas se encuentran entre los límites de 13°C y 32°C, sin embargo, no se observa una correlación entre la temperatura y algún componente del concreto permeable.

A continuación, se muestra la variación de la temperatura medida a las 8 mezclas de prueba.

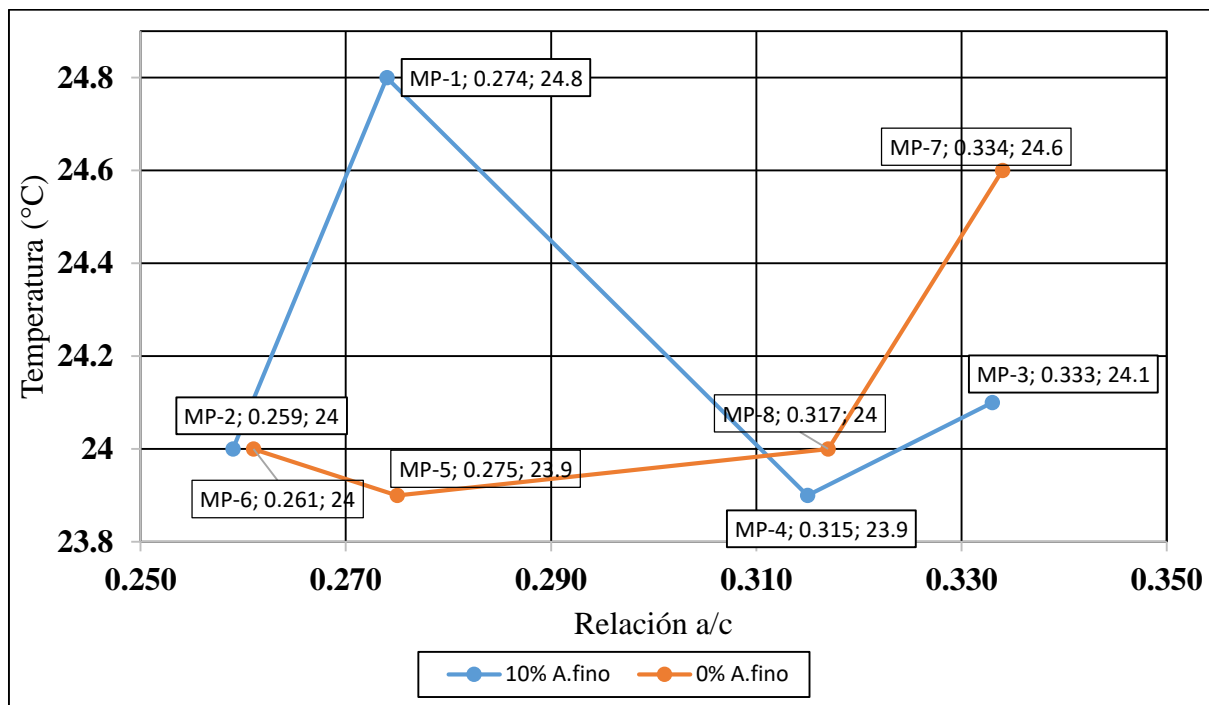


Figura 150 Temperatura en las mezclas de prueba

C) Contenido de aire y densidad de las mezclas prueba

Para el diseño inicial se asumió un contenido de vacíos teórico de 27.5% el cual corresponde a una relación agua/cemento entre 0.27 y 0.33 según la norma ACI 522-R. A continuación, se calculó la densidad y contenido de vacíos utilizando el Procedimiento A de consolidación.

Con el cálculo del contenido real de vacíos se corrigió el diseño inicial, para finalmente volver a calcular las densidades y contenidos de vacíos en laboratorio.

Tabla 64 Contenido de vacíos en las mezclas de prueba

Código	% Vacíos Teórico	% Vacíos utilizando moldes de 6"x12"	% Vacíos utilizando la Olla Washington
MP-1	27.50	28.3	29.59
MP-2	27.50	27.8	28.96
MP-3	27.50	25.7	27.00
MP-4	27.50	25.0	26.29
MP-5	27.50	31.6	32.78
MP-6	27.50	30.4	31.45
MP-7	27.50	29.1	30.55
MP-8	27.50	29.1	30.33

A continuación, se muestra la variación de vacíos en las 8 mezclas de prueba.

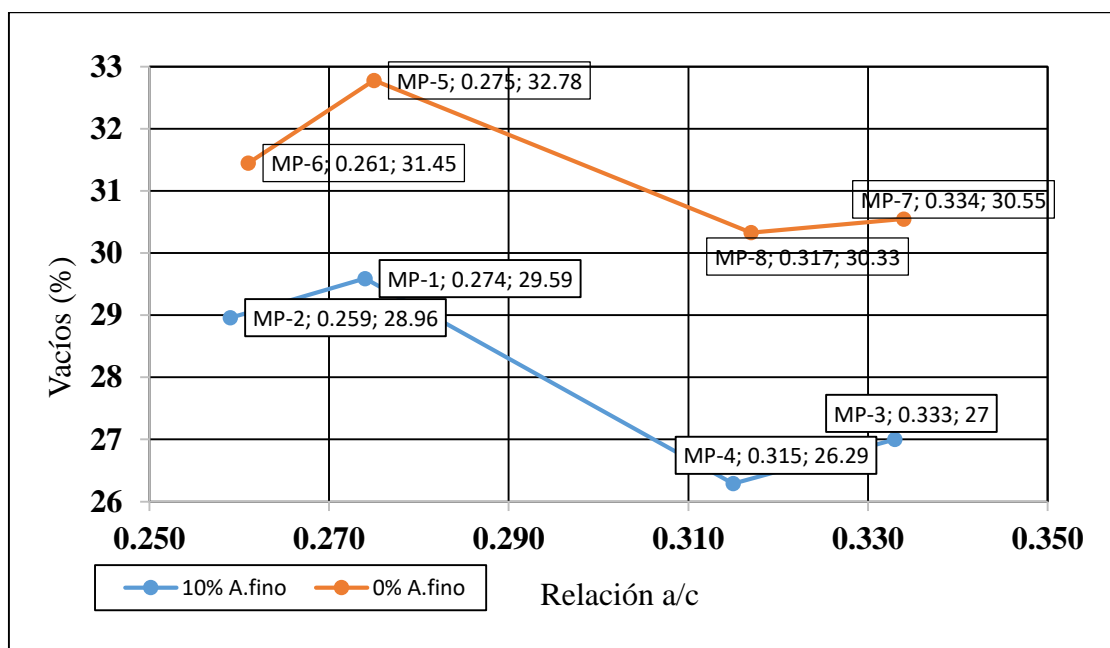


Figura 151 Variación de los vacíos en las mezclas MP-1 a MP-8

El agregado empleado al tener grandes tamaños de partículas no permite la distribución adecuada de estas sobre el concreto permeable originando mayores contenidos de vacíos y menores densidades

Así mismo, si bien la norma ACI 522-R recomienda una disminución de la pasta cuando se utiliza pequeños porcentajes de agregado fino para mantener constante el porcentaje de vacíos, durante el vaciado de las probetas de prueba se pudo observar una mayor demanda de la cantidad de pasta cuando se utiliza agregado fino y agregado grueso del Huso 67.

Por ello, para el vaciado de las mezclas experimentales se decidió aumentar en 0.5% el contenido de pasta por cada 5% de agregado fino con el fin de garantizar un adecuado recubrimiento de toda la superficie de los agregados.

Por otro lado, la norma ACI-522 R a documentado que la variación de la densidad del concreto permeable se encuentra entre 1680 Kg/m³ y 1920 kg/m³, en tanto la norma NTP 339.230 señala una variación entre 1750 kg/m³ y 2000 kg/m³.

En relación a ello, las densidades de las mezclas estudiadas se encuentran entre 1843 kg/m³ y 1924 kg/m³, ubicándose dentro del rango señalado por la norma NTP 339.230.

A continuación, se muestra los resultados de las densidades calculadas empleando los moldes cilíndricos de 6"x12" y la Olla Washington.

Tabla 65 Densidad de las mezclas MP-1 a MP-8

Código	Densidad (kg/m ³) en moldes de 6"x12"	Densidad (kg/m ³) en la Olla Washington
MP-1	1881.2	1843.5
MP-2	1900.2	1866.2
MP-3	1932.7	1897.4
MP-4	1961.9	1923.8
MP-5	1804.5	1778.4
MP-6	1843.6	1820.8
MP-7	1856.9	1824.7
MP-8	1864.6	1837.0

En el siguiente gráfico se puede observar como la densidad es mayor en las mezclas MP-1 a MP-4 con 10% de fino, en relación a las mezclas MP-5 a MP-8, lo cual se refleja en un aumento del contenido de vacíos para las mezclas más densas.

A continuación, se muestra la variación de la densidad en las 8 mezclas de prueba.

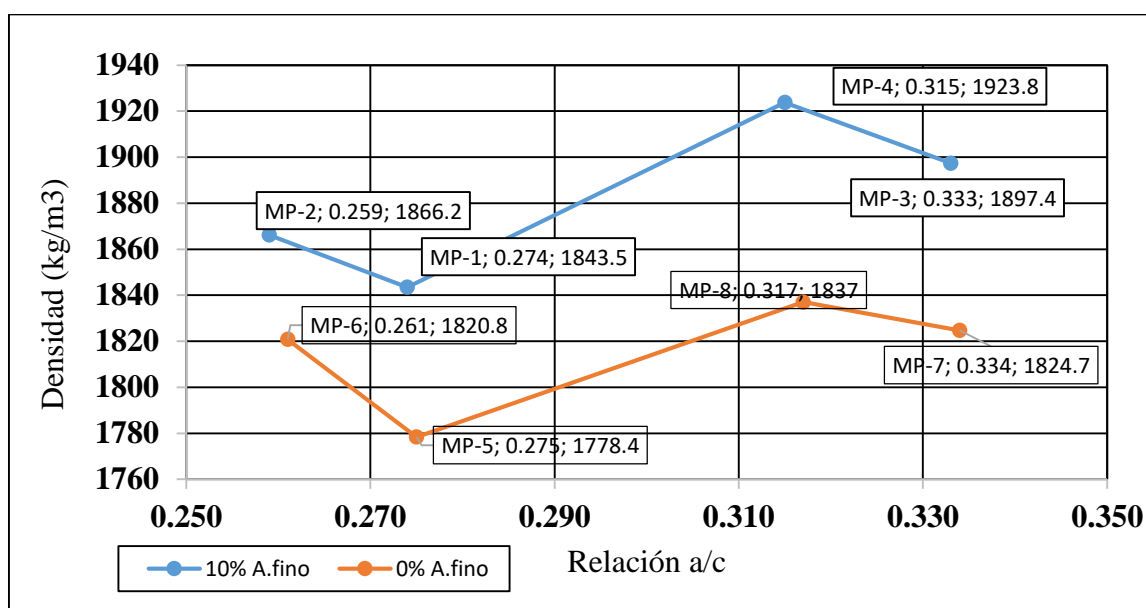


Figura 152 Variación de las densidades de las mezclas MP-1 a MP-8

Por último, la norma NTP 339.230 establece en 22 kg/m³ la desviación estándar en el cálculo de la densidad del concreto permeable para concretos compactados con el procedimiento A. La desviación estándar máxima encontrada en las mezclas de prueba fue de 11.7 kg/m³ presentada en la mezcla MP-8, encontrándose en el rango señalado por la norma.

La desviación estándar para el cálculo de vacíos no se encuentra establecida, sin embargo, se encontró una desviación estándar mínima de 0.04% en la muestra MP-4 y máxima de 0.44% en la muestra MP-8.

D) Contenido de aire por el método de presión para las mezclas de prueba

En la siguiente tabla se muestra el contenido de vacíos medido por el método de presión.

Tabla 66 Contenido de vacíos por el método de presión (MP-1 a MP-8)

Nº	IDENTIFICACIÓN	Vacíos
MP-1	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	25.0 %
MP-2	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	24.0 %
MP-3	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	25.0 %
MP-4	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	23.0 %
MP-5	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	29.0 %
MP-6	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	28.5 %
MP-7	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	28.0 %
MP-8	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	28.0 %

En todas las mezclas se evidenció que el contenido de vacíos obtenidos con el método de presión era inferior al contenido de vacíos obtenido con el método gravimétrico de la norma NTP 339.230. Por ello, la norma ACI 522-R recomienda emplear el método gravimétrico en lugar del método de presión para calcular el contenido de vacíos.

En la siguiente tabla se muestra una comparación en el contenido de vacíos calculados por el método de gravimétrico y el método de presión para las 8 mezclas de prueba.

Tabla 67 Vacíos por el método de presión y gravimétrico de las mezclas MP-1 a MP-8

Código	% Vacíos (Método de presión)	% Vacíos (Método gravimétrico)
MP-1	25.0	29.59
MP-2	24.0	28.96
MP-3	25.0	27.00
MP-4	23.0	26.29
MP-5	29.0	32.78
MP-6	28.5	31.45
MP-7	28.0	30.55
MP-8	28.0	30.33

4.4 Evaluación de la resistencia a compresión (MP) y selección de la relación a/c

En el siguiente gráfico se muestra la variación de las resistencias a la compresión a los 7 días.

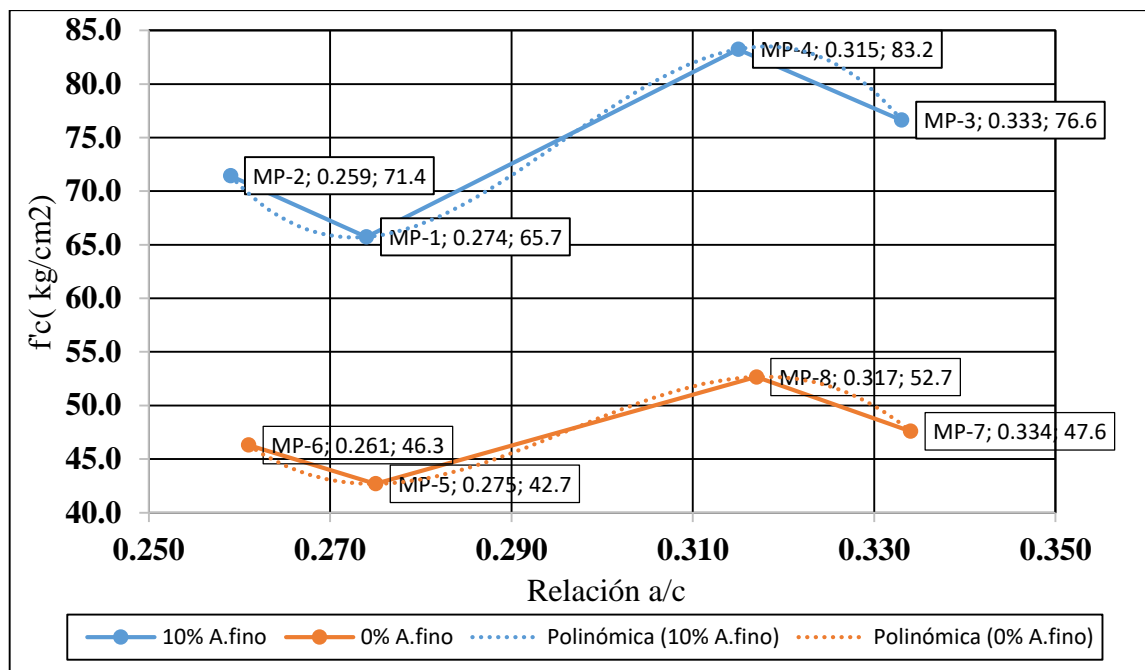


Figura 153 Variación de la resistencia a compresión en las mezclas MP-1 a MP-8

Si mantenemos constante el porcentaje de agregado fino y el contenido de aditivo se puede advertir un aumento en la resistencia a la compresión para las mezclas con una relación agua/cemento de 0.33 en comparación con las mezclas con relación agua/cemento de 0.27.

No obstante, las mezclas MP-4 y MP-5 (con relación agua/cemento de 0.33) evidenciaron una fluidez de la pasta hacia el interior de las probetas, originando una obstrucción del sistema de poros. Por el contrario, las mezclas con relación agua/cemento de 0.27 no presentaron una fluidez de la pasta conservando el sistema de poros a pesar de obtener resistencias menores.

Por ello, se decidió fijar para las mezclas experimentales una relación agua/cemento inicial de 0.30 con el fin de generar un adecuado recubrimiento de la superficie de los agregados y utilizar el aditivo reductor de agua “SikaCem Plastificante” para disminuir el contenido de agua efectiva, logrando mayores resistencias mecánicas en todas las edades del concreto sin generar la obstrucción del sistema de poros del concreto.

Por último, la norma NTP 339.034 establece en 6.6% el coeficiente de variación en el cálculo de la resistencia a compresión obtenida mediante el ensayo de dos cilindros. Todas las muestras de prueba se encuentran por debajo de este rango, a excepción de la muestra MP-5 que presenta un coeficiente de variación de 10.2%.

Como señala Guizado y Curi, en concretos con baja resistencia a la compresión como es el caso de la muestra MP-5, pequeñas diferencias en la resistencia a compresión originan el no cumplimiento de los rangos dados por la norma. Por ello, recomiendan aumentar el coeficiente

mínimo de variación; teniendo en cuenta que los ensayos son realizados por estudiantes y no por profesional técnico experimentado.

En base a lo expuesto por Guizado y Curi, y verificando que los resultados obtenidos en la muestra MP-5 muestran coherencia con el conjunto de datos analizados, se decidió la aceptación de los mismos.

4.5 Evaluación de las propiedades en estado fresco de las mezclas de estudio

Una vez definida la relación agua/cemento mediante las mezclas de prueba, se elaboraron 15 mezclas de estudio o experimentales con el fin determinar la variación de las propiedades del concreto permeable al momento de adicionar agregado fino y el aditivo reductor de agua “SikaCem Plastificante”.

A) Asentamiento de las mezclas experimentales

En la siguiente tabla se muestra el cambio del asentamiento de las 15 mezclas experimentales utilizando el cono de Abrams.

Tabla 68 Asentamiento de las 15 mezclas experimentales

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Slump (cm)
M-1	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	0.0
M-2	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	0.0
M-3	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	0.0
M-4	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	0.0
M-5	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	0.0
M-6	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	0.0
M-7	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	1.0
M-8	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	1.0
M-9	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	1.2
M-10	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	1.0
M-11	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	1.3
M-12	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	1.4
M-13	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	1.5
M-14	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	1.5
M-15	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	2.0

En la tabla anterior se percibe un asentamiento nulo para las 6 primeras mezclas con contenidos entre 0% y 5% de agregado fino. Así mismo, a partir de un 10% de agregado fino

las mezclas presentan un pequeño asentamiento, sin embargo, en ningún caso superan los 2.54cm (1 pulg) para ser considerados como mezclas trabajables.

En el siguiente gráfico podemos observar como el asentamiento aumenta conforme se adiciona el aditivo reductor de agua “SikaCem Plastificante” para un mismo contenido de agregado fino. Por otra parte, utilizar un valor superior a los 500 mL por saco (42.5 Kg de cemento) no origina un aumento en la trabajabilidad como indican las especificaciones técnicas del aditivo; pues esta cantidad origina la máxima dispersión de partículas del cemento en la pasta que se puede lograr con el aditivo.

Así mismo, asentamientos mayores originan una fluidez de la pasta en el concreto permeable obstruyendo el sistema de poros e impermeabilizando la estructura.

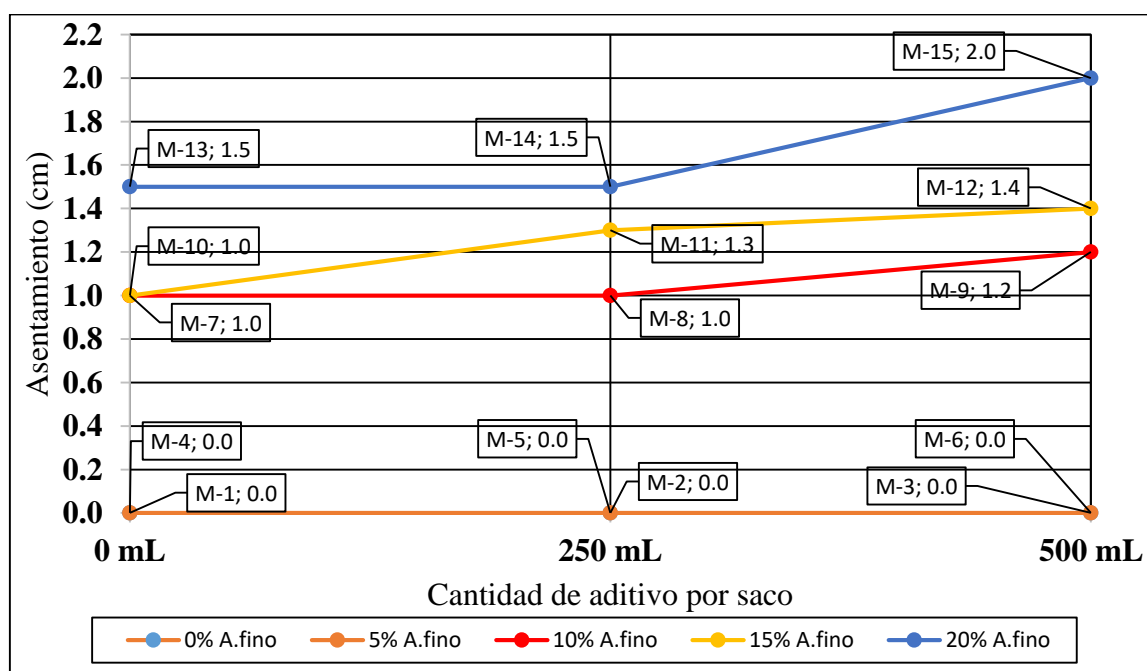


Figura 154 Asentamiento de las mezclas M-1 a M-15

Por último, el uso del aditivo reductor de agua origina en todas las mezclas un aumento de la trabajabilidad representado por una mayor facilidad para la acomodación del concreto permeable en el cono de Abrams; a pesar de no aumentar significativamente el asentamiento.

B) Temperatura de las 15 mezclas experimentales

La temperatura del concreto permeable depende del calor generado durante la hidratación del cemento, la temperatura ambiente, la temperatura de los agregados, las dimensiones y características aislantes del encofrado y el tipo de cemento.

En la práctica, el cemento Tipo I empleado en la presente investigación genera poca elevación de la temperatura del concreto permeable en relación a la temperatura ambiente.

En la siguiente tabla se observa la temperatura del concreto en estado fresco para las 15 mezclas analizadas.

Tabla 69 Temperatura de las 15 mezclas experimentales

N°	IDENTIFICACIÓN	T(°C)
M-1	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	24.0
M-2	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	24.1
M-3	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	23.9
M-4	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	24.5
M-5	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	24.3
M-6	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	24.8
M-7	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	23.8
M-8	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	24.1
M-9	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	24.0
M-10	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	23.9
M-11	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	24.0
M-12	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	24.0
M-13	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	23.8
M-14	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	23.9
M-15	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	24.1

En el siguiente gráfico se muestra la temperatura de las mezclas de estudio.

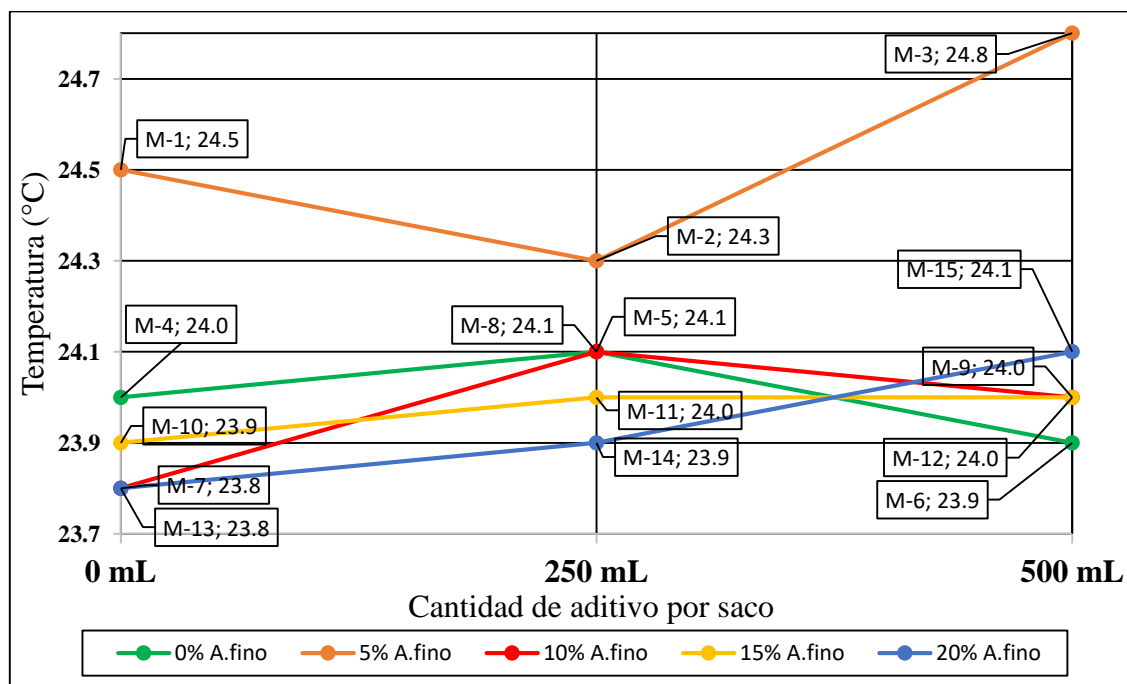


Figura 155 Temperatura de las mezclas M-1 a M-15

C) Contenido de aire y densidad de las 15 mezclas experimentales

La norma NTP 339.230 sugiere utilizar la Olla Washington para calcular la densidad y contenido de vacíos, sin embargo, también se obtuvo estos resultados empleando las probetas de 6"x12" utilizadas para los ensayos de compresión.

A continuación, se muestra una comparación entre el contenido de vacíos teórico, el contenido de vacíos empleando moldes de 6"x12" y la Olla Washington.

Tabla 70 Contenido de vacíos de las 15 mezclas experimentales

Código	% Vacíos Teórico	% Vacíos utilizando moldes de 6"x12"	% Vacíos utilizando la Olla Washington
M-1	27.50	32.3	33.52
M-2	27.50	32.6	33.32
M-3	27.50	32.5	33.47
M-4	27.50	31.4	32.49
M-5	27.50	31.6	32.24
M-6	27.50	30.7	31.74
M-7	27.50	29.1	30.40
M-8	27.50	29.7	30.11
M-9	27.50	26.7	27.78
M-10	27.50	25.3	26.57
M-11	27.50	24.8	25.93
M-12	27.50	25.2	26.16
M-13	27.50	23.7	24.91
M-14	27.50	24.2	25.15
M-15	27.50	23.6	24.29

Si bien al principio se asume un contenido de vacíos teórico de 27.5%, este resultado termina siendo distinto al obtenido durante el vaciado del concreto permeable. Esta diferencia se debe a las características propias del agregado de la Ciudad de Chiclayo y el agregado empleado en las investigaciones con las que se elaboraron las tablas de diseño de la norma ACI 522-R.

Los porcentajes de vacíos obtenidos de la mezcla M-7 a M-15 son los que más se asemejan al contenido teórico de vacíos inicialmente asumido, sin embargo, todas las mezclas fueron ajustadas a los valores obtenidos durante el vaciado.

Después de realizado el ajuste de las mezclas, se obtuvo el contenido de vacíos utilizando la Olla Washington, obteniendo al final una diferencia máxima entre contenido de vacíos teóricos y contenido de vacíos reales de 1.30% en la mezcla M-7.

A continuación, se muestra una comparación entre las densidades del concreto permeable empleando moldes de 6"x12" y la Olla Washington.

Tabla 71 Densidad de las 15 mezclas experimentales

Código	Densidad (kg/m³) moldes de 6"x12"	Densidad (kg/m³) Olla Washington
M-1	1773.2	1740.2
M-2	1770.0	1750.0
M-3	1777.1	1751.1
M-4	1786.6	1758.4
M-5	1809.5	1771.0
M-6	1817.3	1790.4
M-7	1842.0	1808.4
M-8	1832.3	1820.5
M-9	1921.7	1892.8
M-10	1937.9	1904.9
M-11	1957.9	1928.7
M-12	1954.5	1928.6
M-13	1972.9	1942.4
M-14	1966.3	1941.4
M-15	1989.4	1970.8

Las densidades de las mezclas estudiadas se encuentran entre 1740.2 kg/m³ y 1989.4 kg/m³, ubicándose dentro de los parámetros señalados por la norma NTP 339.230.

Así mismo la diferencia máxima entre densidades empleando ambos moldes es de 38.5kg/m³ en la mezcla M-5, sin embargo, esta diferencia es mínima si se tiene en cuenta el amplio rango de densidades con los que se trabaja en el concreto permeable.

Además, se observa un aumento en la densidad del concreto permeable en las mezclas con contenidos de agregado fino mayores. De igual manera, se evidencia una elevación en la densidad a medida que aumenta el contenido del aditivo para diseños con la misma cantidad de agregado fino. Esto se debe a un incremento en la fluidez de la pasta cuando se utiliza aditivo, logrando cubrir de manera más eficiente el sistema de poros del concreto y reduciendo los contenidos vacíos del mismo.

En el siguiente gráfico se muestra el incremento de la densidad en relación al contenido de agregado fino y aditivo de las 15 mezclas de estudio.

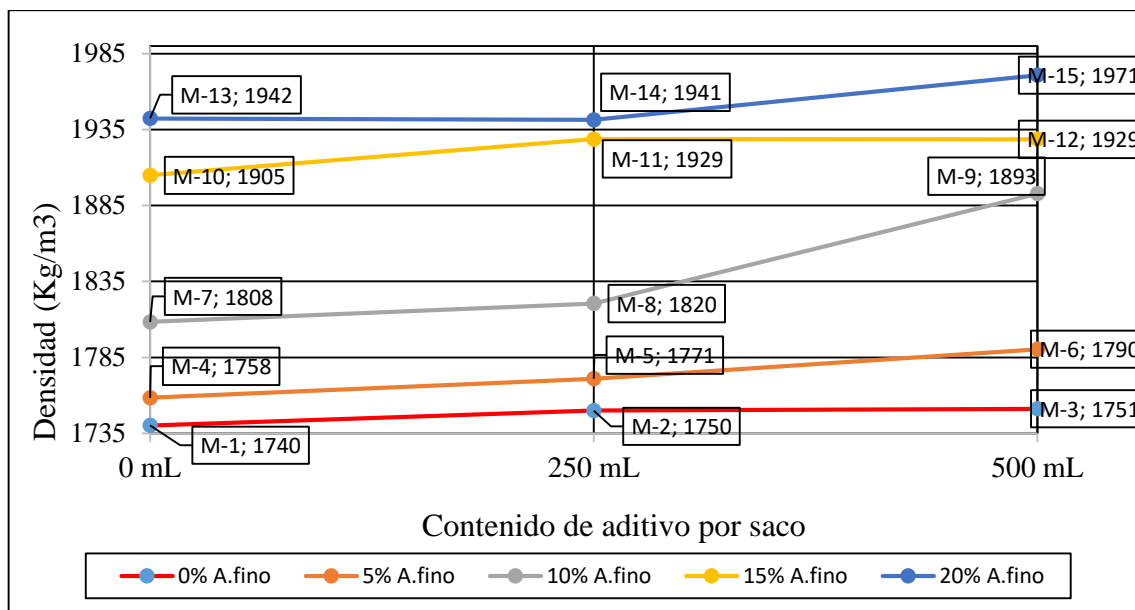


Figura 156 Variación de las densidades en las mezclas M-1 a M-15

A continuación, se muestra la disminución del contenido de vacíos en relación al contenido de agregado fino y aditivo de las 15 mezclas de estudio.

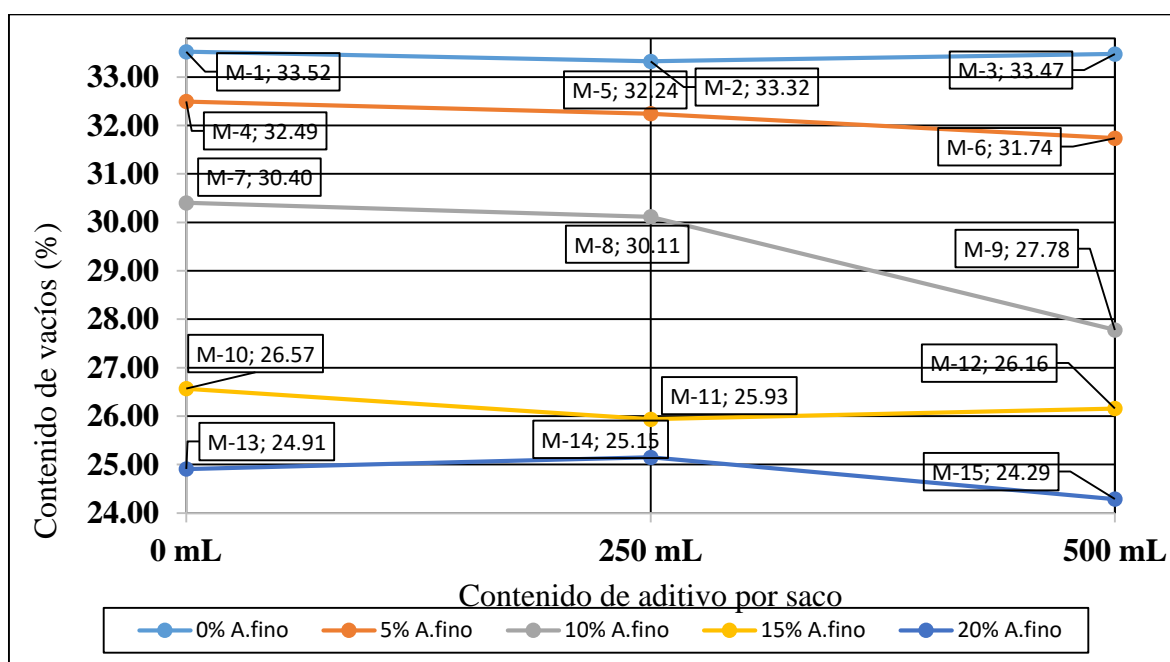


Figura 157 Variación de los contenidos de vacíos en las mezclas M-1 a M-15

En el grafico anterior se observa una tendencia a la disminución del contenido de vacíos y por tanto de la permeabilidad del concreto cuando se agrega mayores porcentajes de agregado fino. Esto se debe a que el agregado fino ocupa el sistema de poros del concreto ocasionando un aumento en la densidad y una disminución en los vacíos del mismo.

Por último, la norma NTP 339.230 establece en 22 kg/m³ la desviación estándar en el cálculo de la densidad del concreto permeable para concretos compactados con el procedimiento A. La desviación estándar máxima encontrada en las mezclas de prueba fue de 8.6 kg/m³ presentada en la mezcla M-9, encontrándose en el rango señalado por la norma.

La desviación estándar para el cálculo de vacíos no se encuentra establecida, sin embargo, se encontró una desviación estándar mínima de 0.06% en la muestra M-15 y máxima de 0.33% en la muestra M-9.

D) Contenido de aire por el método de presión para las mezclas de prueba

En la siguiente tabla se muestra una comparación entre el contenido de vacíos medido por el método de presión empleando la Olla Washington y el método gravímetro descrito en la norma NTP 339.230.

Tabla 72 Contenido de vacíos por el método de presión y gravimétrico

Código	% Vacíos (Método gravimétrico)	% Vacíos (Método de presión)
M-1	33.52	31.00
M-2	33.32	31.00
M-3	33.47	30.00
M-4	32.49	29.00
M-5	32.24	28.50
M-6	31.74	28.00
M-7	30.40	27.00
M-8	30.11	27.00
M-9	27.78	25.00
M-10	26.57	24.00
M-11	25.93	23.00
M-12	26.16	22.50
M-13	24.91	22.00
M-14	25.15	22.00
M-15	24.29	20.00

En todas las muestras se obtuvo un porcentaje de vacíos inferior empleando el método de presión en comparación con el método gravimétrico.

A continuación, se muestra la variación entre el contenido de vacíos obtenido por el método de presión y gravimétrico para las mezclas de estudio.

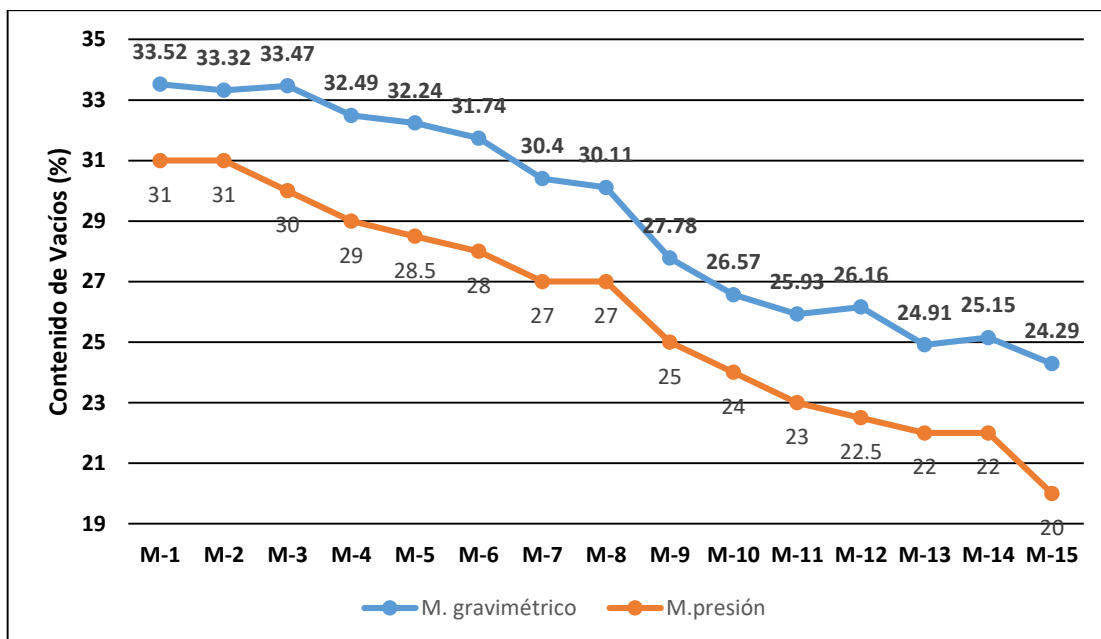


Figura 158 Contenido de vacíos por el método de presión y gravimétrico

4.6 Evaluación de las propiedades en estado endurecido de las 15 mezclas de estudio

A) Densidad y contenido de vacíos en estado endurecido

Se empleó el método de secado Tipo B, debido a su rapidez para obtener resultados.

. A continuación, se muestra una comparación entre la densidad y contenidos de vacíos del concreto permeable en estado fresco y endurecido para las 15 mezclas de estudio.

Tabla 73 Densidad y contenido de vacíos en estado fresco y endurecido

Código	D (kg/m ³) endurecido	D.(kg/m ³) fresco	% Vacíos endurecido	% Vacíos fresco
M-1	1728	1740	34.78	33.5
M-2	1726	1750	34.27	33.3
M-3	1737	1751	34.00	33.5
M-4	1725	1758	33.33	32.5
M-5	1762	1771	32.35	32.2
M-6	1767	1790	32.17	31.7
M-7	1794	1808	31.65	30.4
M-8	1810	1820	30.30	30.1
M-9	1869	1893	28.02	27.8
M-10	1892	1905	26.34	26.6
M-11	1909	1929	26.11	25.9
M-12	1928	1929	25.62	26.2
M-13	1934	1942	25.76	24.9
M-14	1929	1941	26.27	25.1
M-15	1956	1971	24.80	24.3

Todas las mezclas estudiadas presentaron menor densidad en estado endurecido, sin embargo, la diferencia del contenido de vacíos entre los resultados obtenidos en estado fresco y endurecido no son significativos. La mayor variación en el contenido de vacíos es de 1.26 % y lo presenta la mezcla M-1, por tanto, todas las mezclas presentan una tolerancia adecuada a las altas temperaturas.

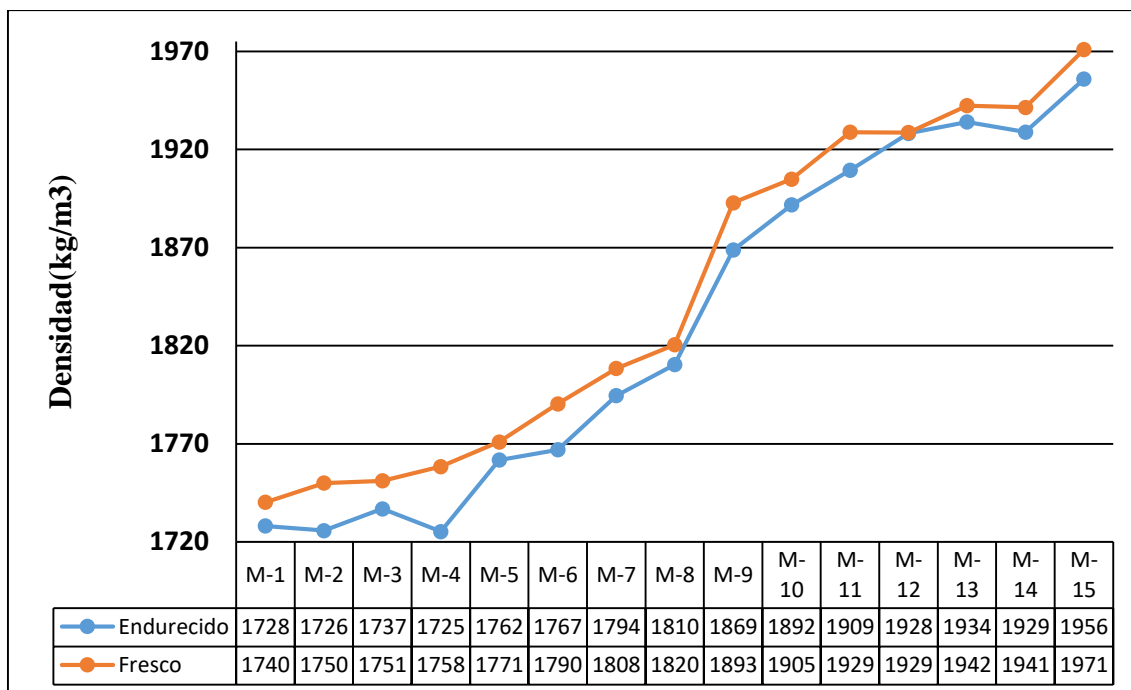


Figura 159 Densidad del concreto permeable en estado fresco y endurecido

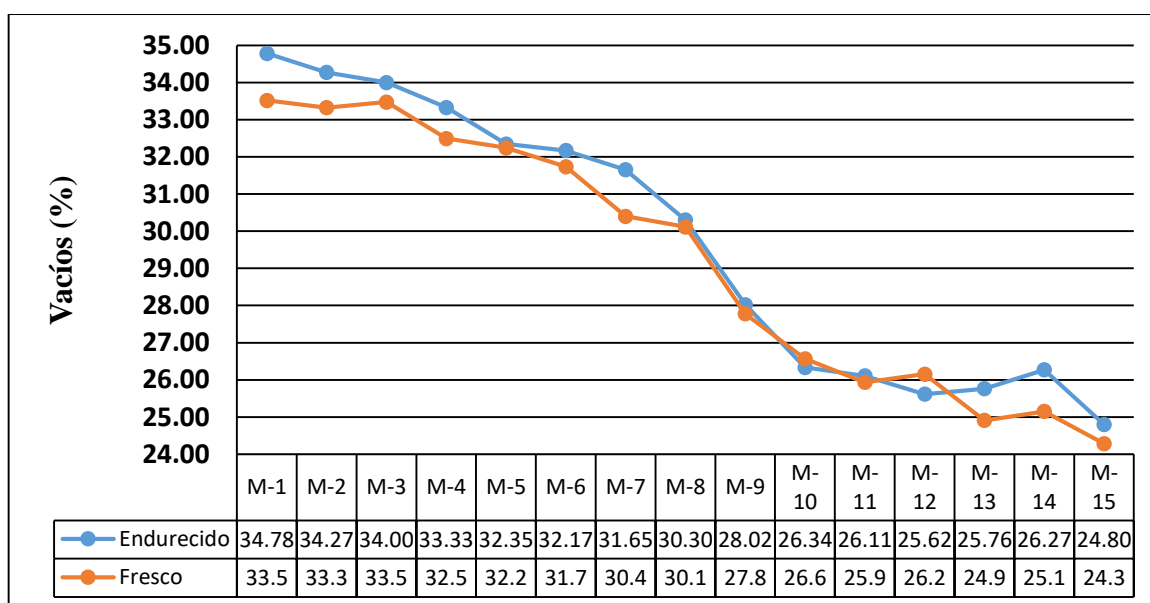


Figura 160 Contenido de vacíos del concreto permeable en estado fresco y endurecido

El sacado de las probetas ocasionó un agrietamiento del concreto permeable por contracción reduciendo su masa y densidad; y a su vez aumentando el volumen de vacíos.

Por último, la norma NTP 339.238 establece en 1.76% el coeficiente de variación en el cálculo de la densidad del concreto permeable para muestras secadas con el procedimiento B. El coeficiente de variación máximo encontrado en las mezclas fue de 1.1% presentada en la muestra M-13, ubicándose en el rango señalado por la norma.

El coeficiente de variación máximo para el cálculo de vacíos del concreto permeable es de 5.46% para muestras secadas con el procedimiento B. El coeficiente de variación máximo encontrado en las mezclas fue de 2.6% presentada en la muestra M-10, ubicándose en el rango señalado por la norma.

B) Resistencia a la compresión de las 15 mezclas experimentales

Para el estudio del desarrollo de las resistencias en el concreto permeable se evaluaron testigos cilíndricos de acuerdo con las indicaciones de la norma NTP 339.034.

El primer grupo de mezclas no contienen agregado fino y la cantidad de aditivo varía en 0mL, 250mL y 500mL por bolsa de cemento (42.5 kg) teniendo por denominación M-1, M-2 y M-3 cada diseño. Por ello, la mezcla M-1 sin agregado fino y aditivo constituye la muestra patrón para este grupo de diseños.

A continuación, se muestra la evolución de la resistencia para los diseños M-1, M-2 y M-3 a las edades de 7, 14 y 28 días.

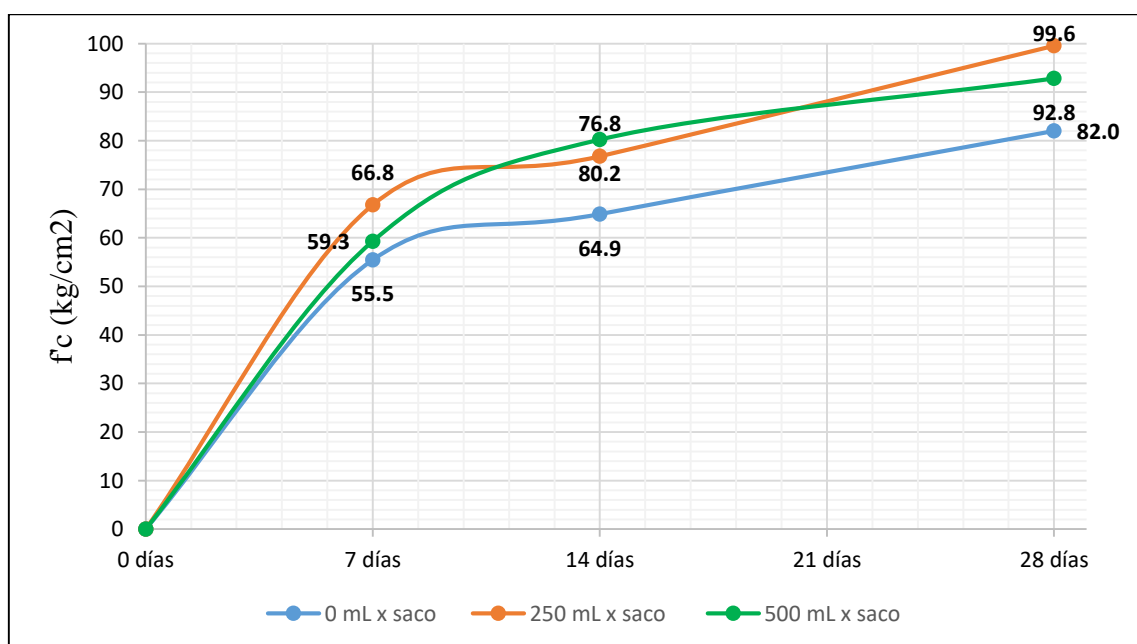


Figura 161 Resistencia a la compresión con 0% de agregado fino

Del anterior gráfico, se percibe un aumento en la resistencia de 18% cuando se utiliza 250mL de aditivo por bolsa y un incremento de 12% cuando se emplea 500 mL de aditivo por bolsa en relación a la resistencia a compresión alcanzada con la mezcla M-1 sin aditivo.

De lo anterior se deduce, que emplear más aditivo no necesariamente aumenta la resistencia del concreto pues si la pasta alcanza una excesiva fluidez termina desplazándose hacia el interior del concreto dejando libre el agregado superficial, lugar donde se produce la falla del concreto permeable

En conclusión, cuando el concreto permeable no contiene agregado fino resulta más eficiente utilizar el aditivo reductor de agua “SikaCem Plastificante” en una proporción de 250mL por bolsa.

El segundo grupo de mezclas contienen 5% de agregado fino y la cantidad de aditivo varía en 0mL, 250mL y 500mL por bolsa de cemento (42.5 kg) teniendo por denominación M-4, M-5 y M-6 cada diseño. Por ello, la mezcla M-4 con 5% de agregado fino y sin aditivo constituye la muestra patrón para este segundo grupo de diseños.

A continuación, se muestra la evolución de la resistencia para los diseños M-4, M-5 y M-6 a las edades de 7, 14 y 28 días.

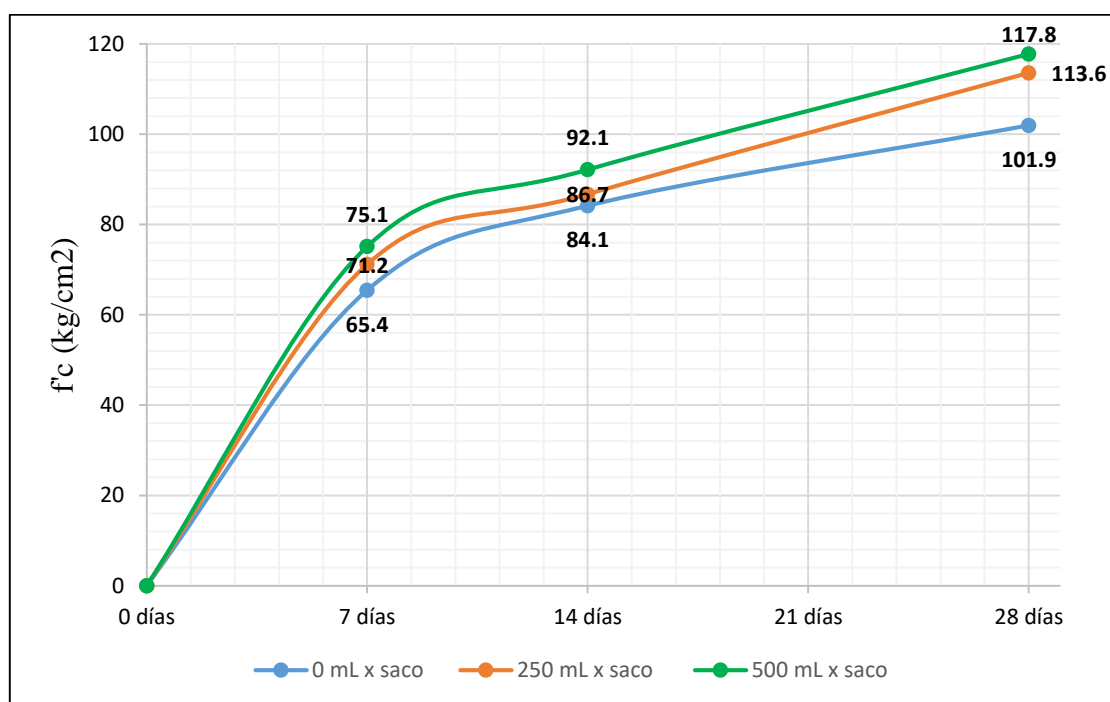


Figura 162 Resistencia a la compresión con 5% de agregado fino

Del anterior gráfico, se percibe un aumento en la resistencia de 10% cuando se utiliza 250mL de aditivo por bolsa y un incremento de 13% cuando se emplea 500 mL de aditivo por bolsa en relación a la resistencia a compresión alcanzada con la mezcla M-4 sin aditivo.

Además, se puede ver que aumentar la cantidad en 250ML del aditivo para utilizarlo como superplastificante solo genera un aumento de la resistencia final de 3% cuando se utiliza 5% de agregado fino. Este pequeño incremento en la resistencia no justifica el costo adicional del metro cúbico del concreto permeable al emplear 500mL de aditivo por saco.

El tercer grupo de mezclas contienen 10% de agregado fino y la cantidad de aditivo varía en 0mL, 250mL y 500mL por bolsa de cemento (42.5 kg) teniendo por denominación M-7, M-8 y M-9 cada diseño. Por ello, la mezcla M-7 con 10% de agregado fino y sin aditivo constituye la muestra patrón para este tercer grupo de diseños.

A continuación, se muestra la evolución de la resistencia para los diseños M-7, M-8 y M-9 a las edades de 7, 14 y 28 días.

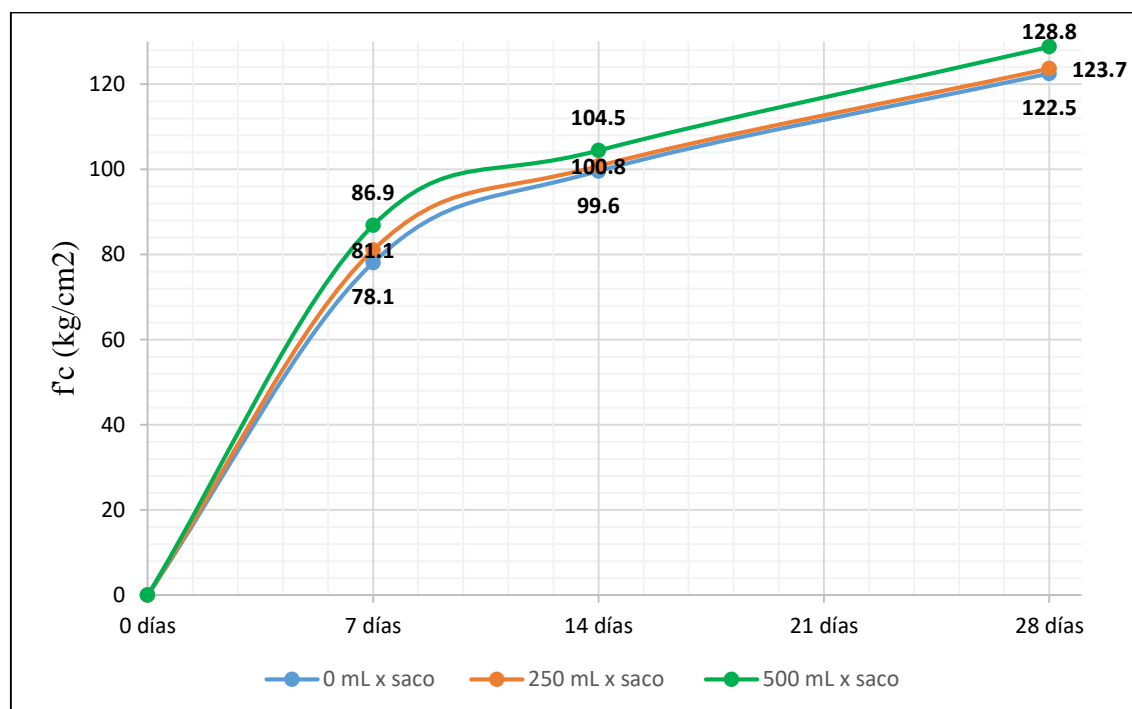


Figura 163 Resistencia a la compresión con 10% de agregado fino

Del anterior gráfico, se percibe un aumento en la resistencia casi nulo del 1% cuando se utiliza 250mL de aditivo por bolsa y un incremento de 5% cuando se emplea 500 mL de aditivo por bolsa en relación a la resistencia a compresión alcanzada con la mezcla M-7 sin aditivo.

Esto se debe principalmente a la mayor cantidad de pasta y agregado fino que disminuye la eficiencia del aditivo, sin embargo, para este grupo de mezclas si bien no hubo un aumento significativo del concreto si ocurrió un aumento en la trabajabilidad obteniendo asentamiento diferente a cero para los tres diseños.

El aumento en la trabajabilidad del concreto justifica el uso de aditivo pues genera una reducción en los tiempos de vaciado al acomodarse de mejor manera en las probetas y por tanto en los encofrados.

El cuarto grupo de mezclas contienen 15% de agregado fino y la cantidad de aditivo varía en 0mL, 250mL y 500mL por bolsa de cemento (42.5 kg) teniendo por denominación M-10, M-11 y M-12 cada diseño. Por ello, la mezcla M-10 con 15% de agregado fino y sin aditivo constituye la muestra patrón para este tercer grupo de diseños.

A continuación, se muestra la evolución de la resistencia para los diseños M-10, M-11 y M-12 a las edades de 7, 14 y 28 días.

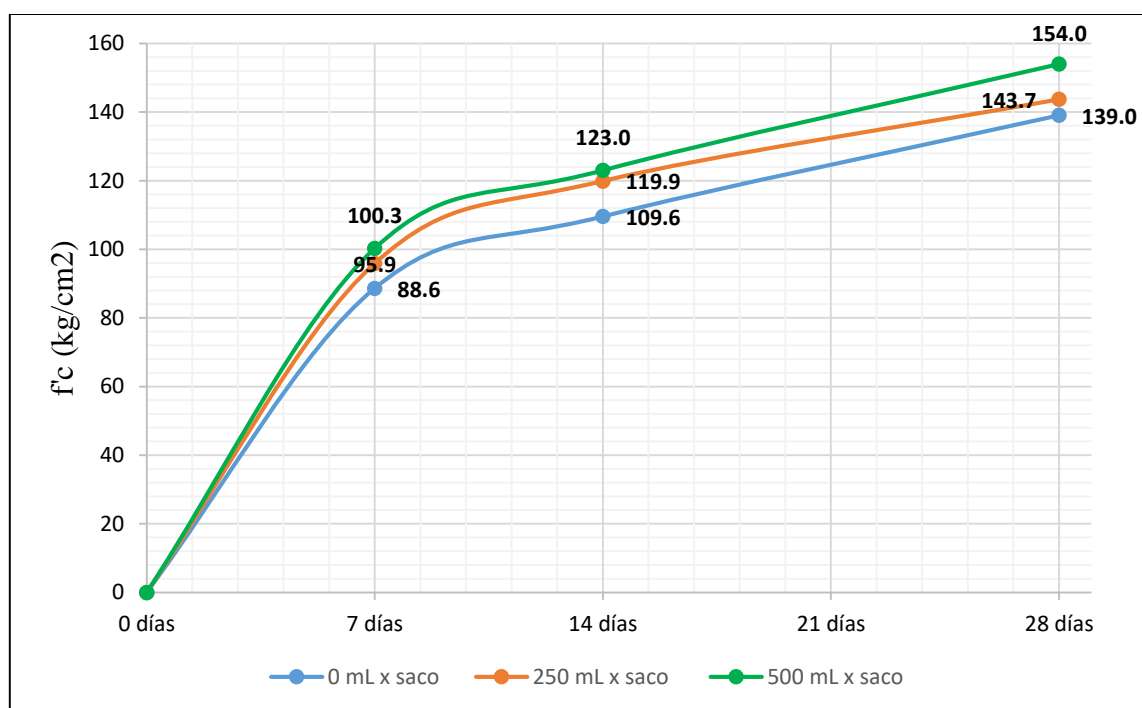


Figura 164 Resistencia a la compresión con 15% de agregado fino

Del anterior gráfico, se percibe un aumento en la resistencia de 3% cuando se utiliza 250mL de aditivo por bolsa y un incremento de 10% cuando se emplea 500 mL de aditivo por bolsa en relación a la resistencia a compresión alcanzada con la mezcla M-10 sin aditivo.

Se deduce que al emplear 15% de agregado fino resulta más eficiente emplear el aditivo SikaCem Plastificante en una cantidad de 500mL. Con esta dosificación se alcanza la eficiencia sugerida por el fabricante, el cual recomienda un aumento de 10% al 15% de la resistencia a compresión.

El último grupo de mezclas contienen 20% de agregado fino y la cantidad de aditivo varía en 0mL, 250mL y 500mL por bolsa de cemento (42.5 kg) teniendo por denominación M-13,

M-14 y M-15 cada diseño. Por ello, la mezcla M-13 con 20% de agregado fino y sin aditivo constituye la muestra patrón para este tercer grupo de diseños.

A continuación, se muestra la evolución de la resistencia para los diseños M-13, M-14 y M-15 a las edades de 7, 14 y 28 días.

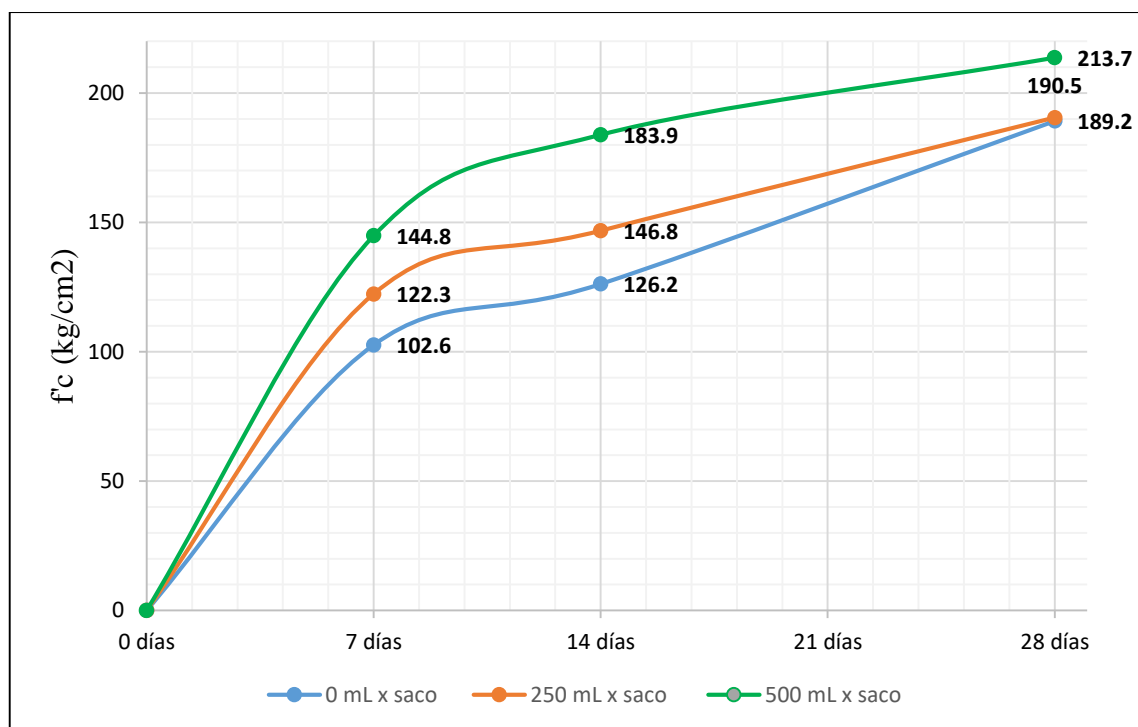


Figura 165 Resistencia a la compresión con 20% de agregado fino

Del anterior gráfico, se percibe un aumento en la resistencia casi nulo del 1% cuando se utiliza 250mL de aditivo por bolsa y un incremento de 11% cuando se emplea 500 mL de aditivo por bolsa en relación a la resistencia a compresión alcanzada con la mezcla M-13 sin aditivo.

Al igual que el grupo de diseños con 15% de agregado fino, cuando se emplea 20% de agregado fino en combinación con 500mL de aditivo SikaCem Plastificante se alcanza la máxima eficiencia del concreto obteniendo un aumento similar al recomendado por el fabricante del aditivo.

Por el contrario, emplear el aditivo como plastificante (en una dosis de 250mL por bolsa) no representa un aumento significativo en la resistencia final del concreto, pero si en la trabajabilidad del mismo.

Adicionalmente, se realizó un análisis de la variación de la resistencia a la compresión de las mezclas sin aditivo, pero con incrementos de la cantidad de agregado fino en porcentajes de 5%.

A continuación, se muestra la evolución de la resistencia para los diseños M-1, M-4 y M-7, M-10 y M-13 a las edades de 7, 14 y 28 días. Para este grupo, la mezcla M-1 sin agregado fino y aditivo constituye el patrón para evaluar el incremento de la resistencia a compresión cuando aumenta la cantidad de agregado fino.

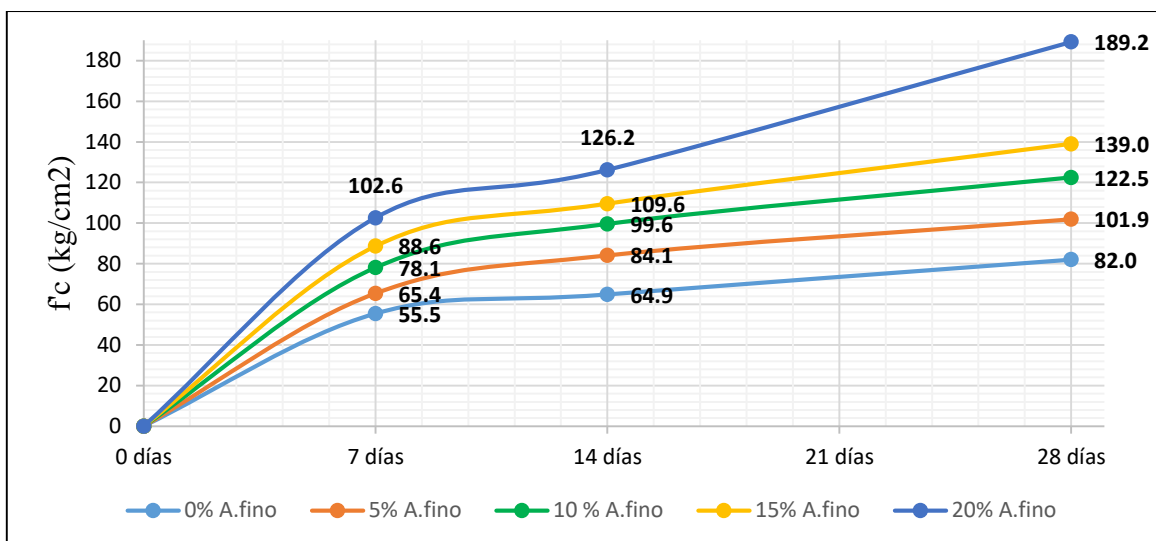


Figura 166 Resistencia a la compresión con 0 mL x saco de aditivo

La mezcla M-4 con 5% de agregado fino presenta un aumento del 20%, la mezcla con 10% de agregado fino presenta un incremento del 33%, la mezcla con 15% de agregado fino presenta un aumento del 41% y la mezcla con 20% de agregado fino presenta un incremento del 57% de la resistencia a la compresión en comparación con la mezcla M-1.

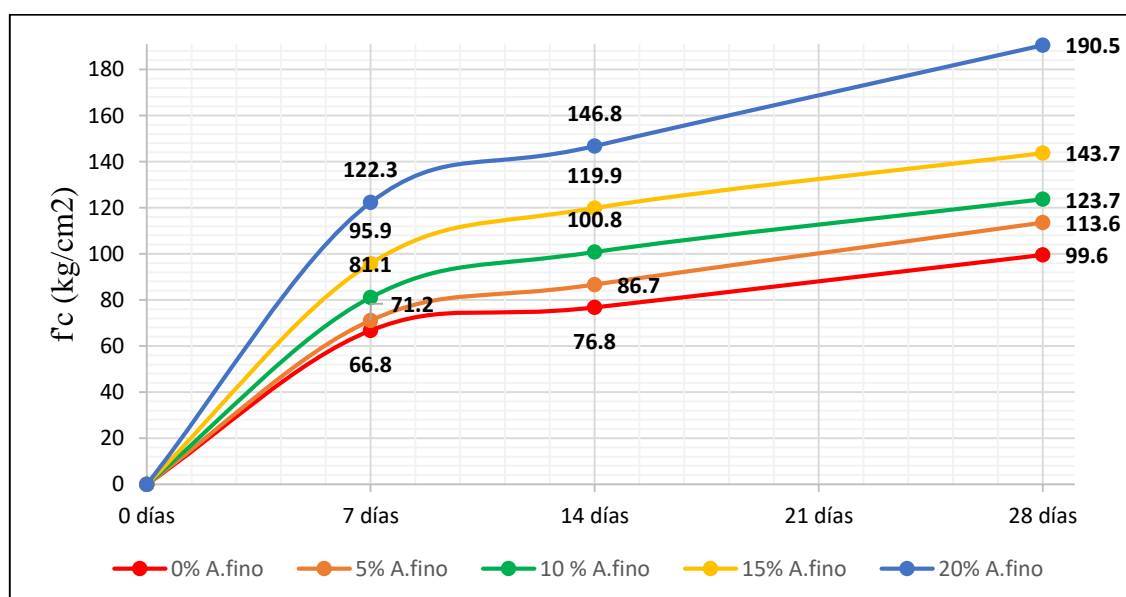


Figura 167 Resistencia a la compresión con 250 mL x saco de aditivo

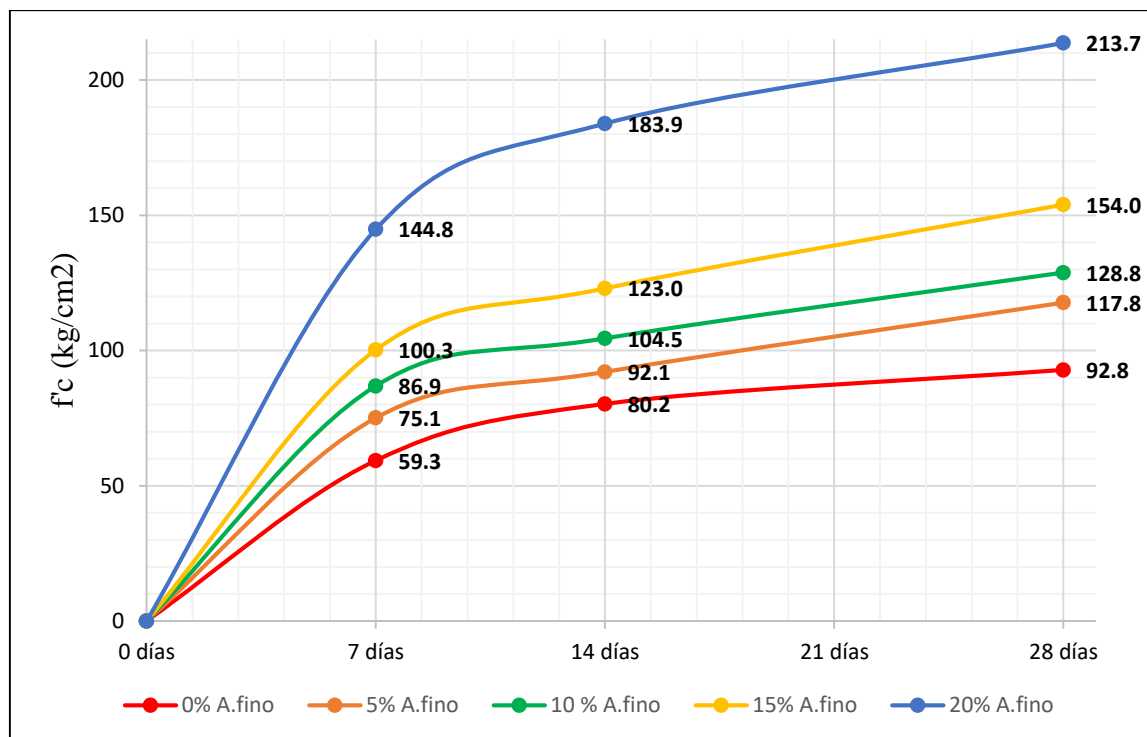


Figura 168 Resistencia a la compresión con 500 mL x saco de aditivo

En los dos últimos gráficos podemos ver la variación de la resistencia cuando se fija el contenido de aditivo y se incrementa la cantidad de agregado fino. En general, el aditivo SikaCem Plastificante presenta mayor eficiencia cuando se combina con cantidades de 15% y 20% de agregado fino.

Por otra parte, la norma CE 010 de Pavimentos Urbanos en la tabla 33 señala que la resistencia mínima a compresión de los pavimentos rígidos especiales (aceras, veredas, pases peatonales) es de 175 kg/cm². Las mezclas M-13, M-14 y M-15 cumplen con este requisito y encuentran su aplicación en este tipo de pavimentos.

Por último, la norma NTP 339.034 establece en 6.6% el coeficiente de variación en el cálculo de la resistencia a compresión obtenida mediante el ensayo de dos cilindros. Todas las muestras se encuentran por debajo de este rango, a excepción de la muestra M-1 que presenta un coeficiente de variación de 7.9% en los resultados obtenidos a los 7 días.

Como señala Guizado y Curi, en concretos con baja resistencia a la compresión como es el caso de la muestra M-1, pequeñas diferencias en la resistencia a compresión originan el no cumplimiento de los rangos dados por la norma. Por ello, recomiendan aumentar el coeficiente mínimo de variación; teniendo en cuenta que los ensayos son realizados por estudiantes y no por profesional técnico experimentado.

En base a lo expuesto por Guizado y Curi, y verificando que los resultados obtenidos en la muestra M-1 muestran coherencia con el conjunto de datos analizados, se decidió la aceptación de los mismos.

C) Resistencia a la flexión de las 15 mezclas experimentales

La resistencia a flexión se calculó a una edad de 7 y 28 días, utilizando el método descrito en la norma NTP 339.078. La resistencia a flexión del concreto permeable al igual que en los concretos convencionales esta relaciona con el desarrollo de la resistencia a la compresión.

En general, para todas las mezclas se percibe un aumento de la resistencia a flexión cuando se adiciona aditivo y agregado fino. Así mismo, la resistencia alcanzada a los 7 días varió entre el 57% en la mezcla M-14 y el 73% en la mezcla M-4 de la resistencia desarrollada a los 28 días.

Además, el incremento de la resistencia a flexión cuando se adiciona aditivo genero un aumento máximo de la resistencia a flexión de 5% en las mezclas con mayor porcentaje de agregado fino (M-14 y M-15).

A continuación, se muestra la variación de la resistencia a la flexión de las 15 mezclas de prueba.

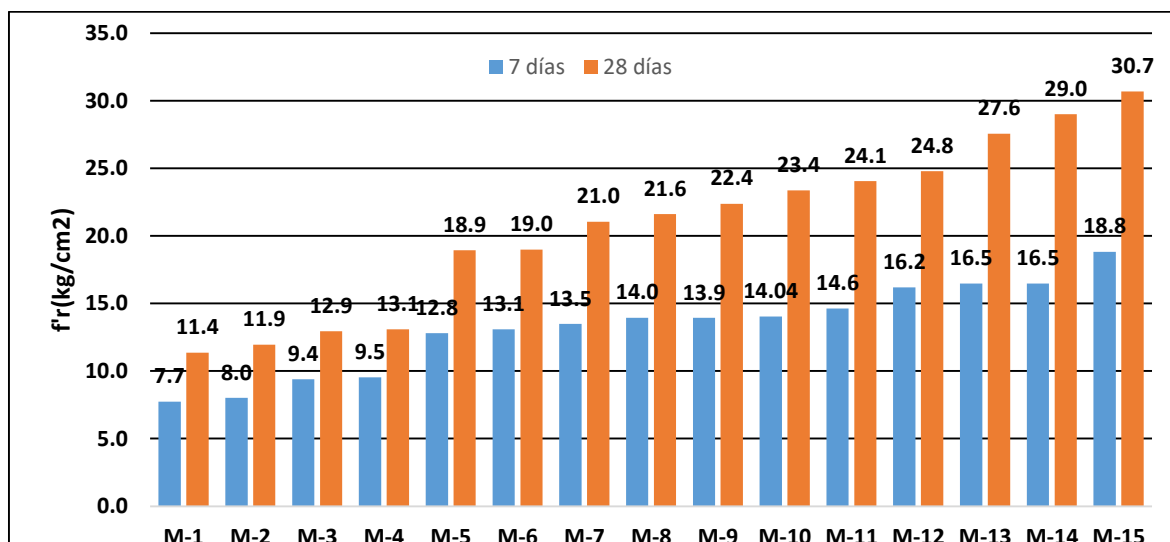


Figura 169 Variación de la resistencia a flexión de las 15 mezclas de estudio

Por otra parte, la norma CE 010 de Pavimentos Urbanos en la tabla 30 señala que la resistencia mínima de los pavimentos rígidos empleados en vías colectoras, locales, arteriales o expresas es de 34 kg/cm². La mezcla M-15 no satisface este requisito, sin embargo, la resistencia a compresión de este diseño fue 213 kg/cm². En la práctica se usan pavimentos rígidos con una resistencia mínima de 280 kg/cm², por esta razón no se recomienda el uso de

concretos permeables para vías de alto tránsito como las señaladas en la tabla 30 de la norma CE 010.

Por último, la norma NTP 339.078 establece en 5.7% el coeficiente de variación en el cálculo de la resistencia a flexión obtenida mediante el ensayo de vigas. La resistencia a flexión en el diseño M-8 evaluada a los 7 días es la única que no cumple con este requisito, esto se debe a los valores bajos de las resistencias a flexión obtenidos para este diseño.

Así mismo, las resistencias a flexión al presentar valores bajos en comparación con las resistencias a compresión podrían ocasionar que el coeficiente de variación no se cumpla; por ello, incida de forma alternativa que la variación máxima de resultados debe ser de 16%. La variación máxima encontrada en las mezclas de prueba fue de 5.6% presentada en la mezcla M-14 a los 7 días, ubicándose en el rango señalado por la norma.

D) Resistencia a impacto y abrasión de las 15 mezclas experimentales

La resistencia impacto y abrasión del concreto permeable está relacionada con la resistencia a compresión del concreto permeable. Para medir la resistencia a impacto y abrasión se empleó el método descrito en la norma NTP 339.239.

La norma hace referencia a una variación de la resistencia a impacto y abrasión entre 15% y 95% para ensayos realizados de forma interna en 7 laboratorios. Por otra parte, las investigaciones realizadas por Allen Sparkman sugieren una abrasión máxima de 40% para obtener un desempeño aceptable del concreto permeable.

En relación a ello, a partir de la mezcla M-11 en adelante se obtuvo una resistencia a impacto y abrasión inferior al 40% en especímenes ensayados a los 7 días. Así mismo, a partir de la mezcla M-7 en adelante se obtuvo una resistencia a impacto y abrasión inferior al 40% en especímenes ensayados a los 28 días.

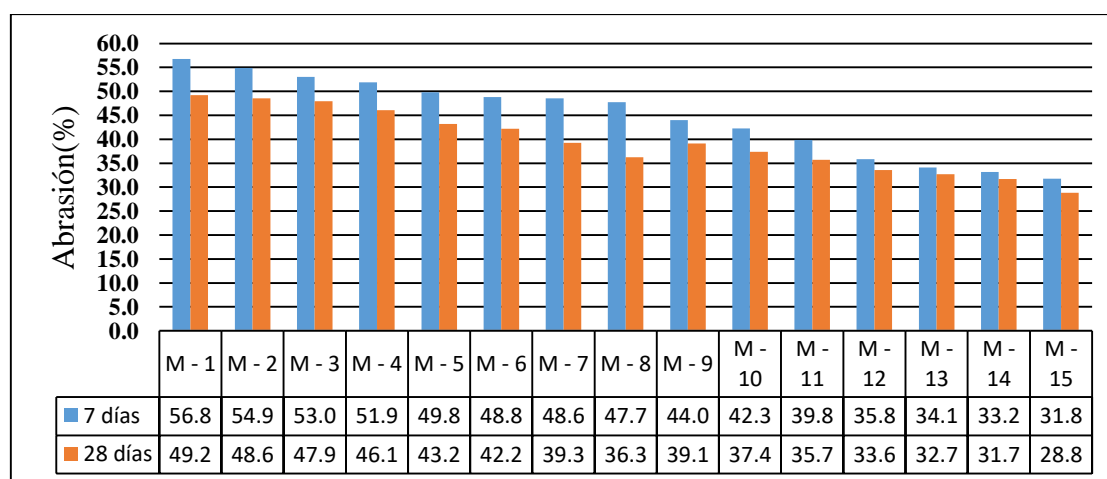


Figura 170 Resistencia a la abrasión de las 15 mezclas experimentales

Se concluye que, la resistencia a la abrasión aumenta conforme el concreto permeable aumenta su contenido de agregado fino y aditivo, sin embargo, el aumento de las resistencias de 7 días a 28 días no resulta significativo.

Lo anterior corresponde a que la resistencia del concreto permeable a impacto y abrasión se debe en mayor parte a la resistencia de los agregados los cuales están cubiertos por una capa delgada de pasta en la superficie del concreto.

Por último, la norma NTP 339.239 establece en 1.4% la desviación estándar en el cálculo de la resistencia a abrasión obtenida mediante el ensayo tres especímenes. La desviación estándar máxima encontrada en las mezclas fue de 0.7% presentada en la mezcla M-11 a los 7 días, ubicándose en el rango señalado por la norma.

E) Tasa de infiltración de las 15 mezclas y requisitos del concreto permeable.

Para verificar la tasa de infiltración de las mezclas de estudio, se empleó el método descrito en la norma ACI 522-R. En esta norma recomienda la utilización de un permeámetro de carga variable para calcular la tasa de infiltración de los especímenes de concreto permeable.

Las mezclas de concreto permeable fueron diseñadas con el fin de poder infiltrar una intensidad de lluvia de 91.6 mm/h (0.00254 cm/s). La intensidad de lluvia antes descrita corresponde a la presentada durante el Fenómeno del Niño del Año 1996 en la ciudad de Chiclayo y fue obtenida en el capítulo 2.2.5.1.

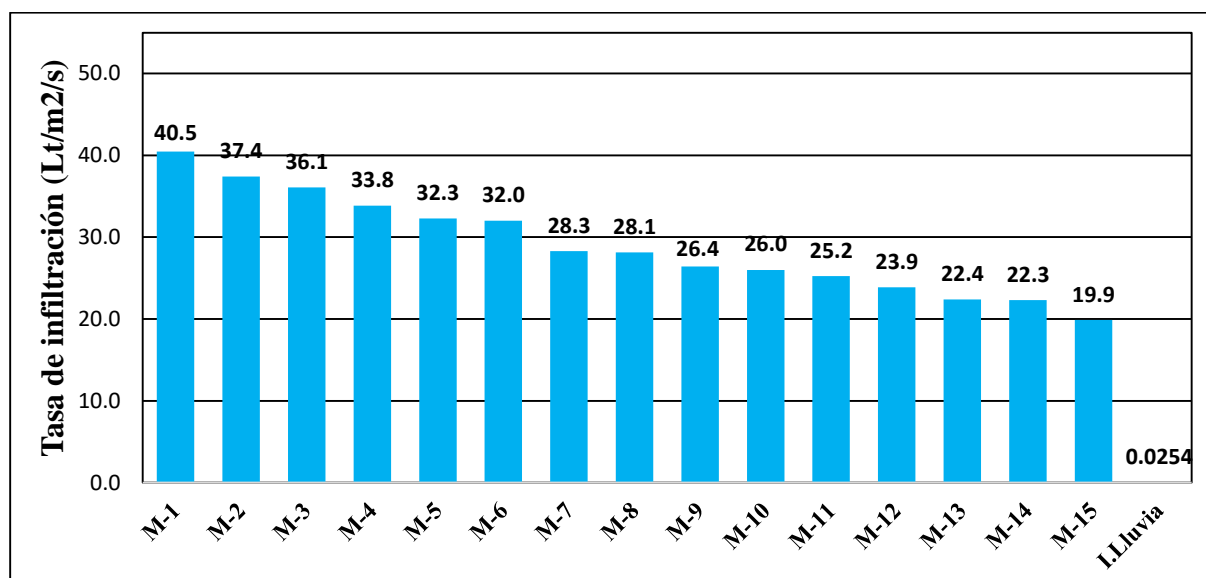
Así mismo, la norma ACI 522-R menciona tasas de infiltración de aproximadamente 36 L/m²/s (mm/s) para contenidos de vacíos en el rango de 20% a 25%. Por otra parte, las investigaciones de Allen Sparkman sugieren una infiltración mínima de 400 pulg/h o 0.282 cm/s para obtener un desempeño adecuado del concreto.

A continuación, se muestra las tasas de infiltración calculadas para los 15 diseño de mezclas del concreto permeable a una edad de 28 días.

Tabla 74 Tasa de infiltración y requisito de intensidad de lluvia

Código	Infiltración (cm/s)	Infiltración (L/m ² /s)
M-1	4.05	40.5
M-2	3.74	37.4
M-3	3.61	36.1
M-4	3.38	33.8
M-5	3.23	32.3
M-6	3.20	32.0
M-7	2.83	28.3
M-8	2.81	28.1
M-9	2.64	26.4
M-10	2.60	26.0
M-11	2.52	25.2
M-12	2.39	23.9
M-13	2.24	22.4
M-14	2.23	22.3
M-15	1.99	19.9
I. Lluvia	0.00254	0.0254

Se observa que la tasa de infiltración mínima obtenida en la mezcla M-15 es 780 veces mayor a la intensidad de lluvia requerida.

**Figura 171 Tasa de infiltración e intensidad de lluvia requerida**

Se deduce que la tasa de infiltración no es un limitante del concreto permeable cuando se garantizan contenidos de aire de superiores al 20%, por otro lado, utilizar menores contenidos de vacíos origina una obstrucción del sistema de poros cuando el concreto se encuentra en

servicio debido a la presencia de partículas sólidas sobre la superficie de los concretos permeables.

La norma ACI 522-R no establece la desviación estándar máxima en la determinación del coeficiente de permeabilidad, sin embargo, a partir de los datos obtenidos por Guizado y Curi se encontró una desviación estándar máxima de 0.34 cm/s en la mezcla G para el ensayo de permeabilidad mediante el procedimiento descrito en la norma ACI 522-R.

Por otra parte, en esta investigación la desviación estándar máxima encontrada en las mezclas fue de 0.18 cm/s presentada en la mezcla M-1 y la mínima de 0.01 cm/s en la mezcla M-13. Se puede observar que los valores obtenidos son cercanos a los encontrados por Guizado y Curi, y se espera que sirvan como punto de partida a otras investigaciones.

V. Discusión

5.1 Influencia de la incorporación de agregado fino y aditivo

A) Asentamiento y contenido de agregado fino (a/A)

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar 5 cantidades diferentes de agregado fino (0%, 5%, 10% ,15% y 20%) sobre el asentamiento del concreto permeable en estado fresco. Al mismo tiempo, las mezclas de estudio fueron divididas en tres grupos de acuerdo al contenido de aditivo (0 mL, 250 mL y 500 mL por bolsa de cemento) SikaCem Plastificante para simplificar su análisis.

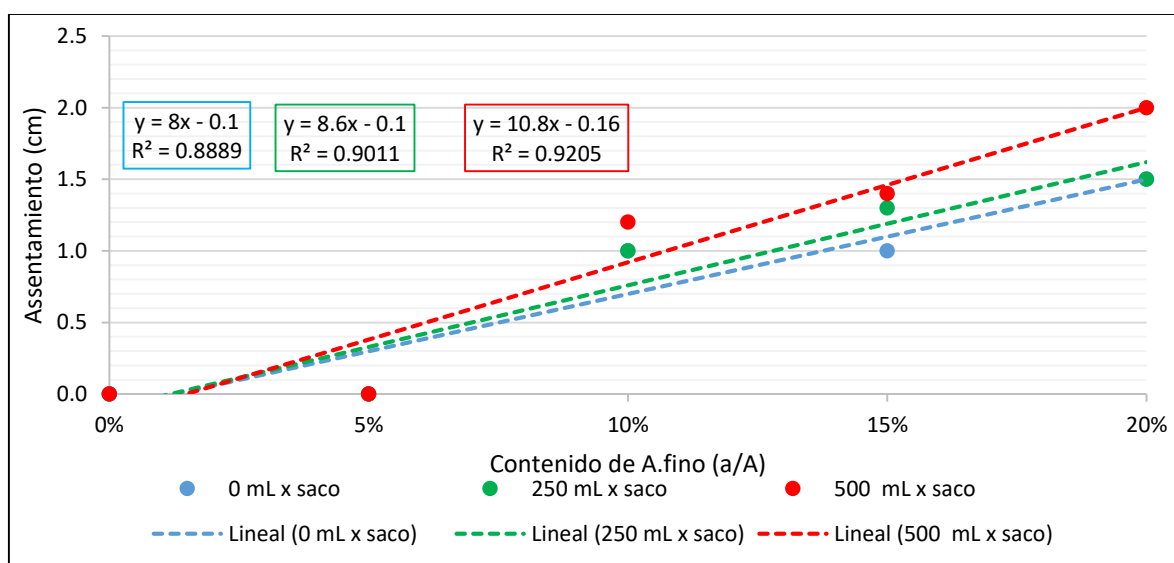


Figura 172 Asentamiento vs Contenido de agregado fino

Del gráfico anterior podemos deducir que no existe una correlación definida entre el asentamiento y el contenido de agregado fino, sin embargo, para muestras con contenidos de agregado fino a partir del 10% se observa la presencia de un pequeño asentamiento en el concreto.

Así mismo, Guizado y Curi obtienen un asentamiento inferior a la 1/2" (1.25 cm) empleando agregado grueso del Huso 67 (TMN 3/4"), una relación agua/cemento de 0.27 y 10% de agregado fino. Por otro lado, Paucar y Morales no obtuvieron asentamiento utilizando agregado de 3/4", una relación agua/cemento de 0.40 y 10% de agregado fino.

En esta investigación se obtuvo una variación en el asentamiento de 0 a 2 cm para los 15 diseños de estudio. El asentamiento casi nulo del concreto permeable evita una obstrucción del sistema de poros debido a una excesiva fluidez de la pasta como lo afirma la norma ACI-522R.

B) Temperatura y contenido de agregado fino (a/A)

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante en la temperatura del concreto permeable en estado fresco.

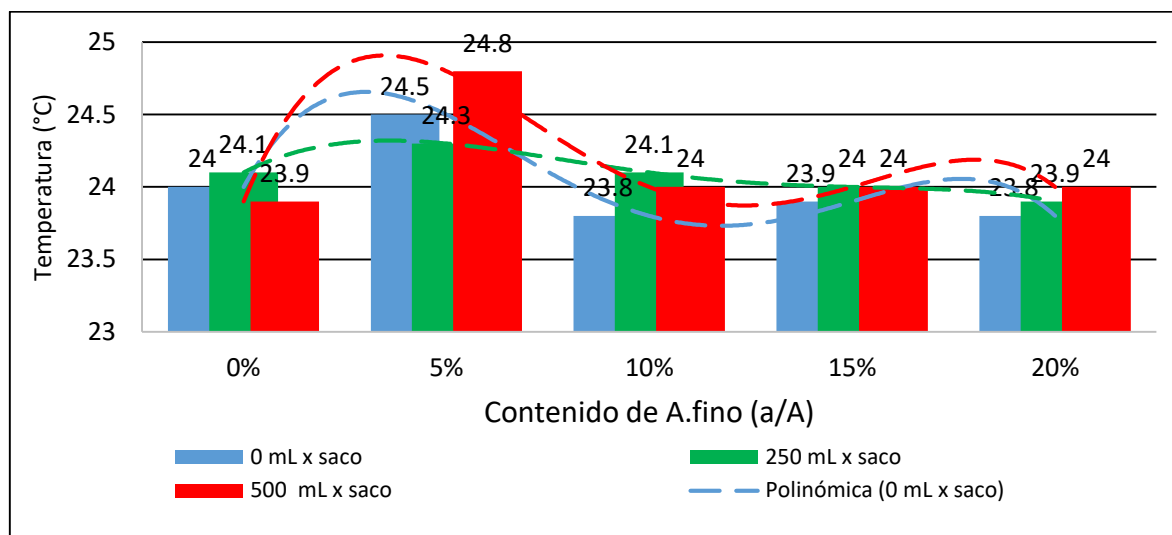


Figura 173 Asentamiento vs Contenido de agregado fino

Del gráfico anterior podemos deducir que no existe una correlación definida entre la temperatura y el contenido de agregado fino y aditivo. Las muestras fueron vaciadas a una temperatura ambiente entre 21°C y 23°C; resultando una temperatura del concreto en estado fresco de 23.8°C a 24.8°C.

Guizado y Curi, realizaron el vaciado de sus mezclas a una temperatura ambiente entre 28.5°C y 31°C, resultando una temperatura del concreto permeable entre 32.10°C y 35°C.

Los diseños de Guizado y Curi alcanzan un incremento máximo de 4°C con respecto a la temperatura ambiente; mientras que en esta investigación se alcanzó incremento máximo de 1.8°C. Esto se debe a que los diseños de Guizado y Curi contenían cantidades de cemento en el rango de 390 kg/m³ a 417 kg/m³ en comparación a la presente investigación donde los contenidos de cemento varían entre 281 kg/m³ para la mezcla M-1 y 313 kg/m³ para la mezcla M-15. Es decir, el menor contenido de cemento en los 15 diseños de estudio originó un menor incremento de la temperatura del concreto permeable respecto a la temperatura ambiente

C) Densidad y contenido de vacíos en estado fresco y contenido de agregado fino (a/A)

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante en la densidad del concreto permeable en estado fresco.

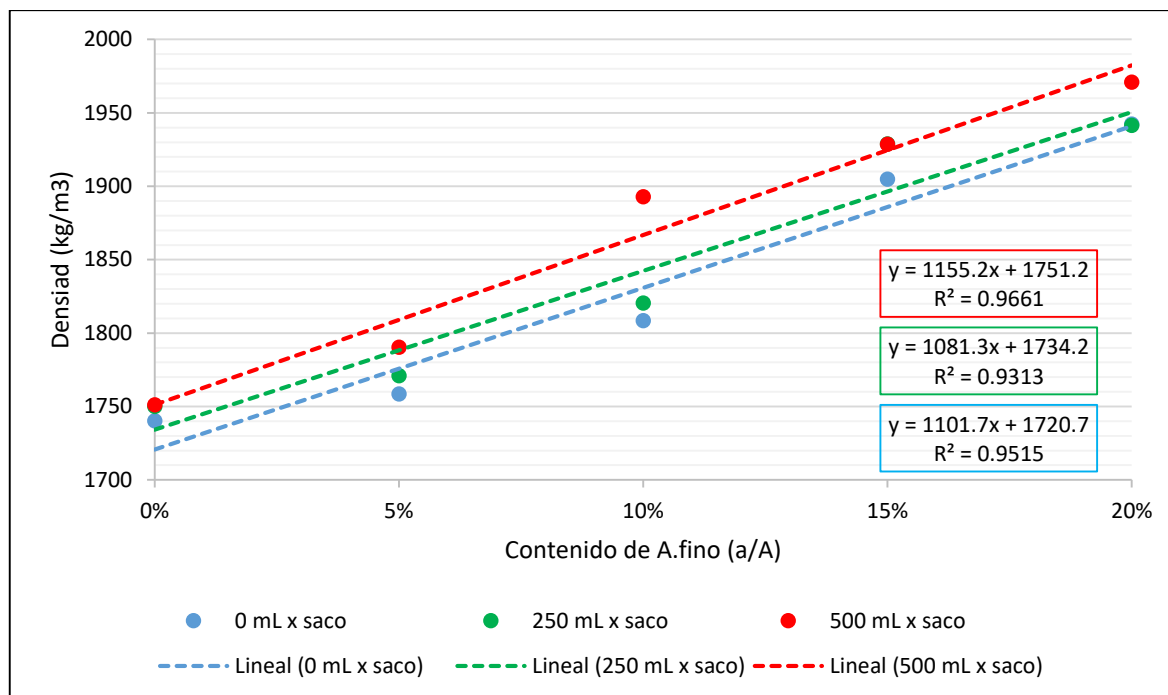


Figura 174 Densidad en estado fresco vs Contenido de agregado fino

Del gráfico anterior, se advierte una correspondencia lineal creciente entre el contenido de agregado fino y la densidad del concreto permeable.

Se puede observar un aumento de la densidad en las mezclas de estudio conforme se incrementa el contenido de agregado fino en el concreto permeable. La explicación a esto se encuentra en la mayor fluidez que adquieren las mezclas al contener pequeñas cantidades de agregado fino logrando ocupar de forma más eficiente el sistema de poros del concreto permeable; aumentando su masa y por tanto su densidad.

Además, para las mismas cantidades de agregado fino se puede ver un aumento en la densidad conforme aumenta el volumen de aditivo SikaCem Plastificante en los diseños. Esto se debe al aumento de la trabajabilidad y la menor demanda de agua cuando se emplea el aditivo SikaCem Plastificante.

Así mismo, Guizado y Curi obtienen una densidad en estado fresco de 1840 kg/m³ empleando agregado grueso del Huso 67 (TMN 3/4”), una relación agua/cemento de 0.27 y 10% de agregado fino. Del mismo modo, Paucar y Morales obtuvieron una densidad en estado fresco entre 1824 kg/m³ y 1845 kg/m³ utilizando agregado de 3/4”, una relación agua/cemento de 0.40 y 10% de agregado fino.

Por otro lado, en la presente investigación con 10% de agregado fino se obtuvo una densidad de 1808 kg/m³ en la mezcla M-7 sin aditivo, 1820 kg/m³ en la mezcla M-8 con 250 mL de

aditivo por bolsa de cemento y 1893 kg/m³ en la mezcla M-9 con 500 mL de aditivo por bolsa de cemento.

Los resultados obtenidos en el diseño M-7 y M-8 son similares a las otras investigaciones empleando la misma cantidad de agregado fino, sin embargo, en la mezcla M-9 se presenta un aumento de 73 kg/m³; este incremento se debe a la gran dispersión que alcanzan las partículas del cemento cuando se utiliza el aditivo como superplastificante (500 mL por bolsa de cemento).

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante en el volumen de vacíos del concreto permeable en estado fresco.

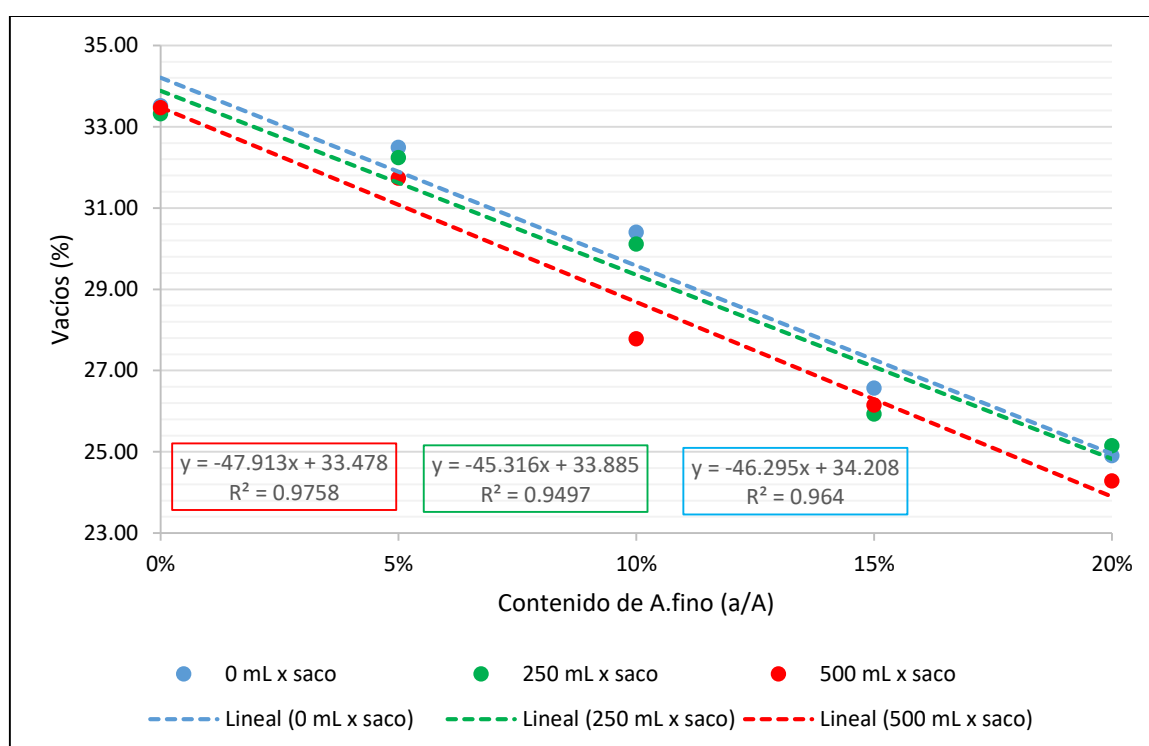


Figura 175 Contenido de vacíos en estado fresco vs Contenido de agregado fino

Del gráfico anterior, se advierte una correspondencia lineal decreciente entre el contenido de agregado fino y el contenido de vacíos del concreto permeable.

Se puede observar una disminución del contenido de vacíos en las mezclas de estudio conforme se incrementa el contenido de agregado fino en el concreto permeable. La explicación a esto se encuentra en el aumento de la trabajabilidad de las mezclas lo cual origina que la pasta fluya hacia el sistema de poros reduciendo el volumen de vacíos

Además, para las mismas cantidades de agregado fino se puede ver una disminución en el contenido de vacíos conforme aumenta el volumen de aditivo SikaCem Plastificante en los

diseños. Esto se debe al aumento de la trabajabilidad de los diseños con aditivo, originando un flujo de la pasta hacia el sistema de poros del concreto.

Así mismo, Guizado y Curi obtienen un contenido de vacíos entre 28.82% y 27.57% empleando agregado grueso del Huso 67 (TMN 3/4”), una relación agua/cemento de 0.27 y 10% de agregado fino. Del mismo modo, Paucar y Morales obtuvieron un contenido de vacíos en estado fresco de 20.23% utilizando agregado de 3/4”, una relación agua/cemento de 0.40 y 10% de agregado fino.

Por otro lado, en la presente investigación con 10% de agregado fino se obtuvo un contenido de vacíos de 30.40 % en la mezcla M-7 sin aditivo, 30.11% en la mezcla M-8 con 250 mL de aditivo por bolsa de cemento y 27.78% en la mezcla M-9 con 500 mL de aditivo por bolsa de cemento.

En general las mezclas de estudio con 10% de agregado fino presentan resultados similares a los obtenidos por Guizado y Curi debido a que en ambas investigaciones se utilizó el martillo de Proctor Estándar para compactar las muestras; en tanto Paucar y Morales emplearon el martillo Proctor Modificado logrando una reducción de los vacíos del concreto permeable.

Se debe señalar que si bien Paucar y Morales logran una menor cantidad de vacíos esto no se traduce en un aumento de resistencia a la compresión.

D) Densidad y volumen de vacíos en estado endurecido y contenido de agregado fino (a/A)

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante en la densidad del concreto permeable en estado endurecido.

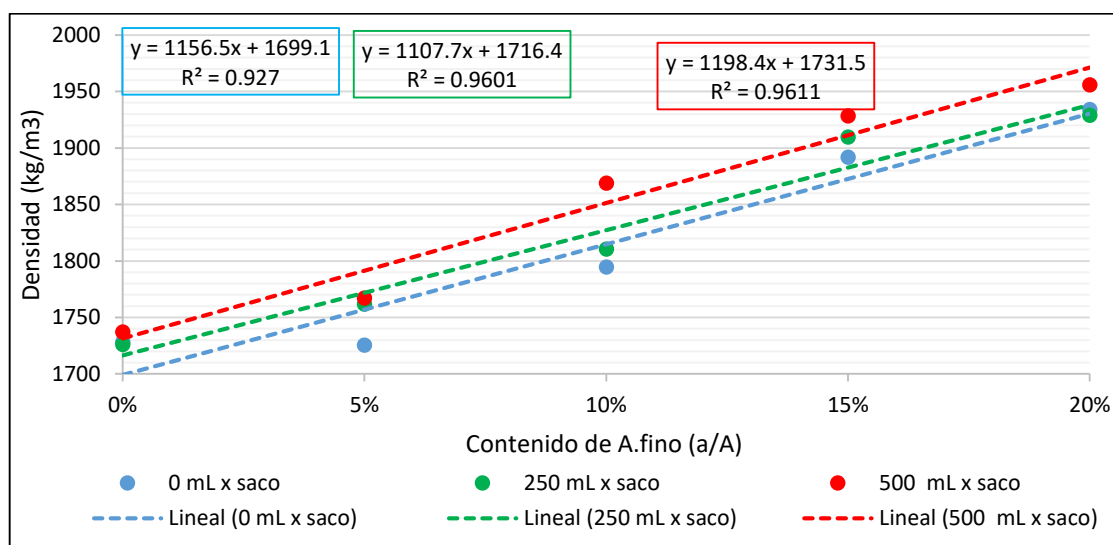


Figura 176 Densidad estado endurecido vs Contenido de agregado fino

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante en el volumen de vacíos del concreto permeable en estado endurecido.

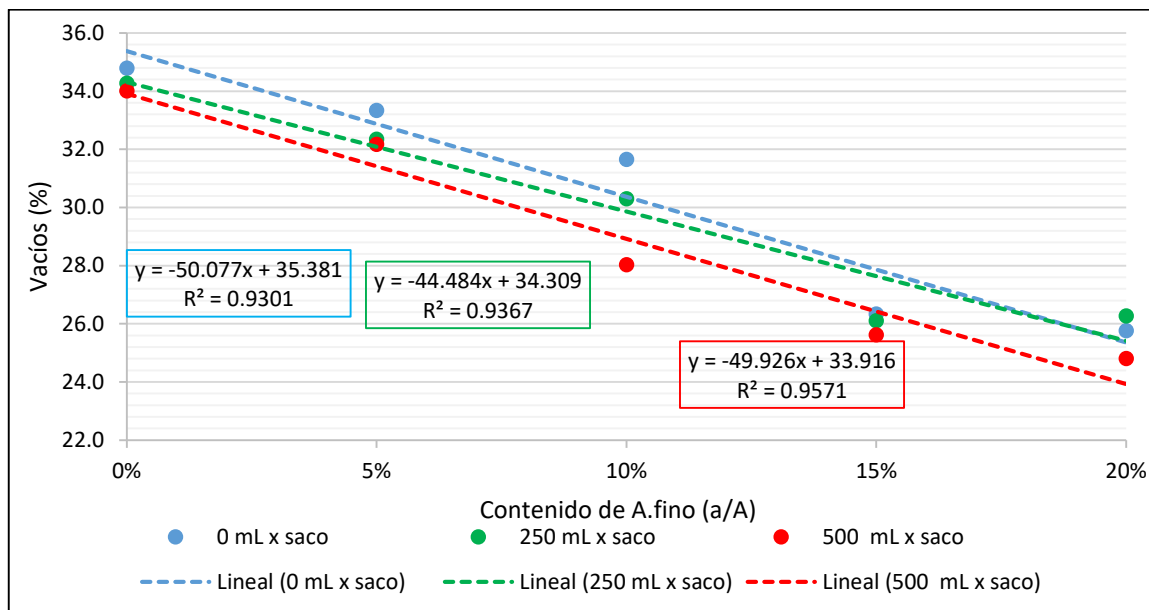


Figura 177 Contenido de vacíos en estado endurecido vs Contenido de agregado fino

Al igual que la densidad en estado fresco, la densidad en estado endurecido aumenta conforme se incrementa el uso de agregado fino y aditivos, por el contrario, el contenido de vacíos disminuye conforme se incrementa el uso de agregado fino.

Guizado y Curi evalúan el contenido de vacíos y densidad en estado endurecido mediante la norma NTP339.034. El procedimiento de este ensayo no sugiere la necesidad de someter el espécimen a una temperatura elevada para eliminar el agua que pudiera estar atrapada en el sistema de poros como si lo hace la norma NTP 339.238 aplicada específicamente al concreto permeable.

Por ello, el agua atrapada en el sistema de poros origina un aumento aparente del contenido de vacíos calculados por Guizado y Curi en comparación a los resultados obtenidos en la presente investigación donde la variación del contenido de vacíos en estado fresco y endurecido fue mínima.

E) Resistencia a la compresión a los 28 días y contenido de agregado fino (a/A)

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar 5 cantidades diferentes de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) sobre la resistencia a compresión a una edad de 28 días del concreto permeable.

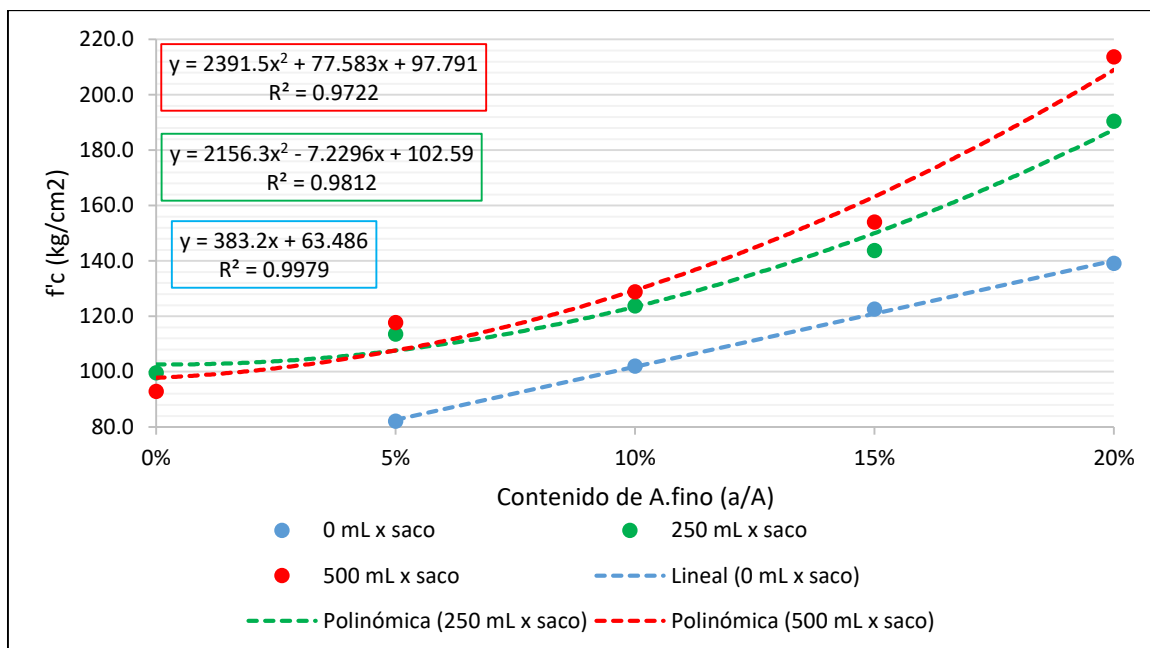


Figura 178 Resistencia a la compresión a los 28 días vs Contenido de agregado fino

Del gráfico anterior, se advierte una correspondencia lineal creciente entre el contenido de agregado fino y la resistencia a compresión cuando no se emplea aditivo sobre las mezclas. Por otra parte, para los diseños con aditivo la curva de regresión polinómica es la que mejor relaciona el contenido de agregado fino y la resistencia a la compresión.

En general, se puede observar un aumento de la resistencia a compresión a medida que se incrementa el contenido de agregado fino en las mezclas de estudio. Esto se debe a que la pasta se combina con el agregado fino para cubrir de manera más eficiente la superficie del agregado grueso logrando una estructura más compacta y resistente en el concreto permeable. El aditivo aporta a este fenómeno aumentando la dispersión de las partículas de cemento y reduciendo la demanda de agua de la mezcla.

Por otra parte, al momento de iniciar el diseño de una mezcla de concreto permeable resulta conveniente conocer aproximadamente cual será la resistencia alcanzada utilizando ciertas cantidades de agregado fino. Por ello, para diseños de mezcla con una relación agua/cemento de 0.30 y utilizando agregado grueso de 3/4" se proponen las siguientes ecuaciones para conocer la resistencia a compresión en función del contenido de agregado fino.

Ecuación 56 Resistencia a la compresión en función del contenido de agregado fino

$f'c1 = 383.2(a/A) + 63.486$
$f'c2 = 2156.3(a/A)^2 - 7.2296(a/A) + 102.59$
$f'c3 = 2391.5(a/A)^2 + 77.583(a/A) + 97.791$

- $f'c_1$ = Resistencia a la compresión para mezclas sin aditivo (kg/cm²)
- $f'c_2$ = Resistencia a la compresión para mezclas con 250 mL de aditivo por saco (kg/cm²)
- $f'c_3$ = Resistencia a la compresión para mezclas con 500 mL de aditivo por saco (kg/cm²)
- a/A = Volumen de A.fino con respecto al volumen de A.global (adimensional)

Además, las mezclas M-13, M-14 y M-15 con un contenido del 20% de agregado fino, son las únicas que logran alcanzar la resistencia mínima de 175 kg/cm² sugerida por la norma CE 010 de Pavimentos Urbanos para poder emplear el concreto permeable como aceras, estacionamientos, pasos peatonales y vías de bajo tránsito.

Así mismo, Paucar y Morales obtienen una resistencia promedio a compresión de 145.21 kg/cm² a una edad de 28 días empleando agregado grueso de 3/4", una relación agua/cemento de 0.40 y 10% de agregado fino. Del mismo modo, Guizado y Curi obtuvieron una resistencia promedio máxima de 111 kg/cm² a una edad de 28 días utilizando agregado del Huso 67 (TMN 3/4"), una relación agua/cemento de 0.27 y 10% de agregado fino.

En conclusión, la relación agua/cemento de 0.30 empleada en esta investigación, la utilización agregado fino en cantidades superiores al 10% y el empleo del aditivo SikaCem Plastificante permitió mejorar la resistencia a compresión del concreto permeable.

C) Resistencia a la flexión a los 28 días y contenido de agregado fino (a/A)

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar 5 cantidades diferentes de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) sobre la resistencia a flexión a una edad de 28 días.

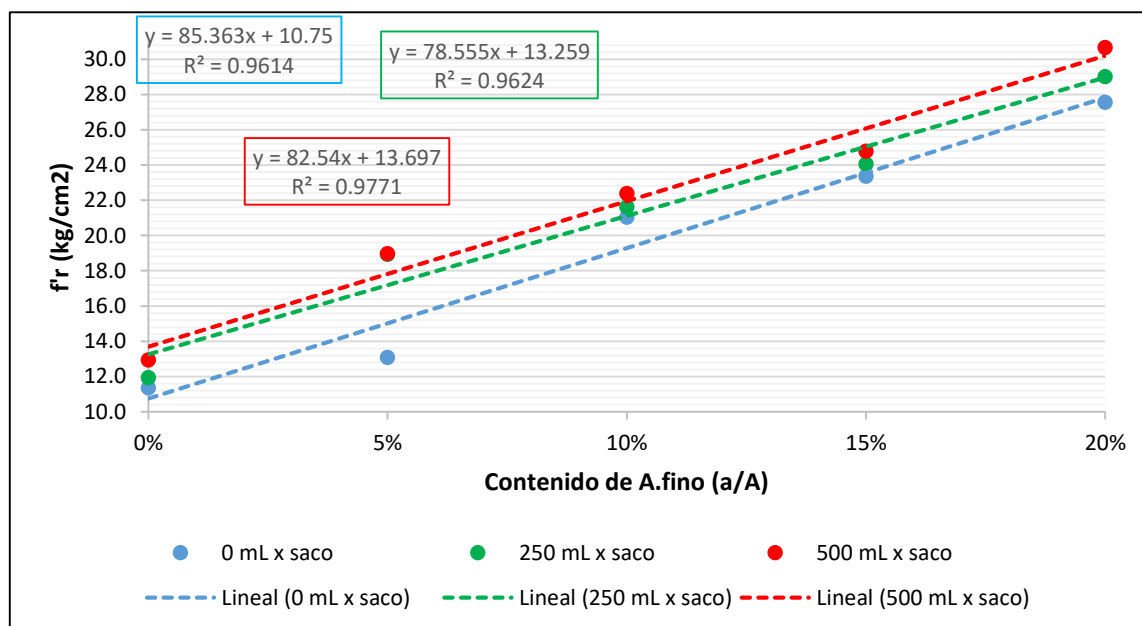


Figura 179 Resistencia a la flexión a los 28 días vs Contenido de agregado fino

Del gráfico anterior, se advierte una correspondencia lineal creciente entre el contenido de agregado fino y la resistencia a flexión del concreto permeable.

El aumento de la resistencia a flexión está relacionado con el incremento de la resistencia a la compresión. Por otra parte, el diseño de algunas estructuras como los pavimentos rígidos está basado en la resistencia flexión. Por ello, en el siguiente gráfico se muestra la relación entre la resistencia a la compresión y la resistencia a flexión del concreto permeable.

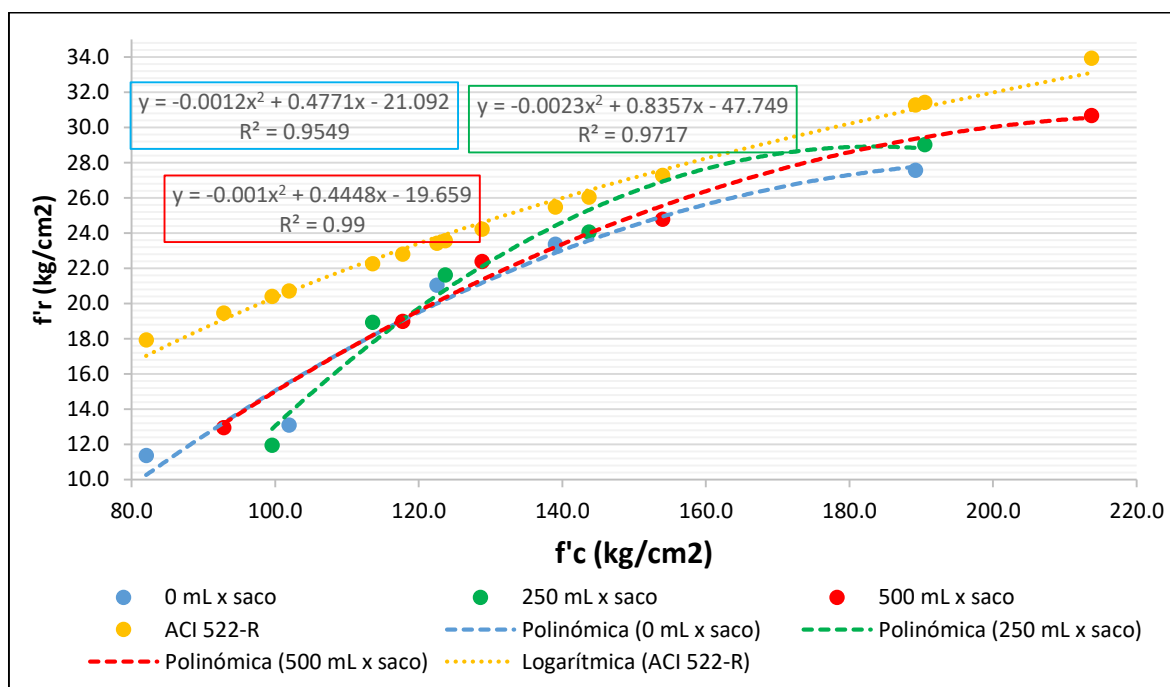


Figura 180 Resistencia a la compresión vs Resistencia a flexión

Del gráfico anterior, se observa que la curva de regresión que más se ajusta a la relación entre la resistencia a la compresión y flexión es la cuadrática. Por ello, para diseños de mezcla con una relación agua/cemento de 0.30 y utilizando agregado grueso de 3/4" se proponen las siguientes ecuaciones para conocer la resistencia a flexión en función de la resistencia a compresión.

Ecuación 57 Resistencia a la flexión en función de la resistencia a compresión

$$f'r_1 = -0.0012(f'c_1)^2 + 0.4771(f'c_1) - 21.092$$

$$f'r_2 = -0.0023(f'c_2)^2 + 0.8357(f'c_2) - 47.779$$

$$f'r_3 = -0.001(f'c_3)^2 + 0.4448(f'c_3) - 19.659$$

- $f'c_1$ = Resistencia a la compresión en mezclas sin aditivo (kg/cm²)

- $f'c_2$ = Resistencia a la compresión en mezclas con 250 mL de aditivo por saco (kg/cm²)

- $f'c3$ = Resistencia a la compresión en mezclas con 500 mL de aditivo por saco (kg/cm²)
- $f'r1$ = Resistencia a la flexión para mezclas sin aditivo (kg/cm²)
- $f'r2$ = Resistencia a la flexión para mezclas con 250 mL de aditivo por saco (kg/cm²)
- $f'r3$ = Resistencia a la flexión para mezclas con 500 mL de aditivo por saco (kg/cm²)

Además, la curva de regresión amarilla representa la relación propuesta entre la resistencia a compresión y flexión por la norma ACI 522-R. Se puede advertir que esta relación difiere de los resultados obtenidos en la presente investigación para resistencias a la compresión menores a los 120 kg/cm², sin embargo, para resistencias mayores a los 120 kg/cm² las ecuaciones propuestas en esta investigación resultan similares a las brindadas por la norma ACI 522-R.

Por último, la mezcla M-15 con un contenido de 20% de agregado fino y 500 mL de aditivo por bolsa de cemento, no logra alcanzar la resistencia mínima de 34 kg/cm² sugerida por la norma CE 010 de Pavimentos Urbanos para poder emplear el concreto permeable como capa de rodadura en vías de mediano tránsito: vías locales y colectoras. De ahí que la norma ACI 522-R, sugiere el uso del concreto permeable para aceras, estacionamientos, pasos peatonales y vías de bajo tránsito.

D) Resistencia al impacto y abrasión a los 28 días y contenido de agregado fino (a/A)

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar 5 cantidades diferentes de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) sobre la resistencia abrasión a una edad de 28 días.

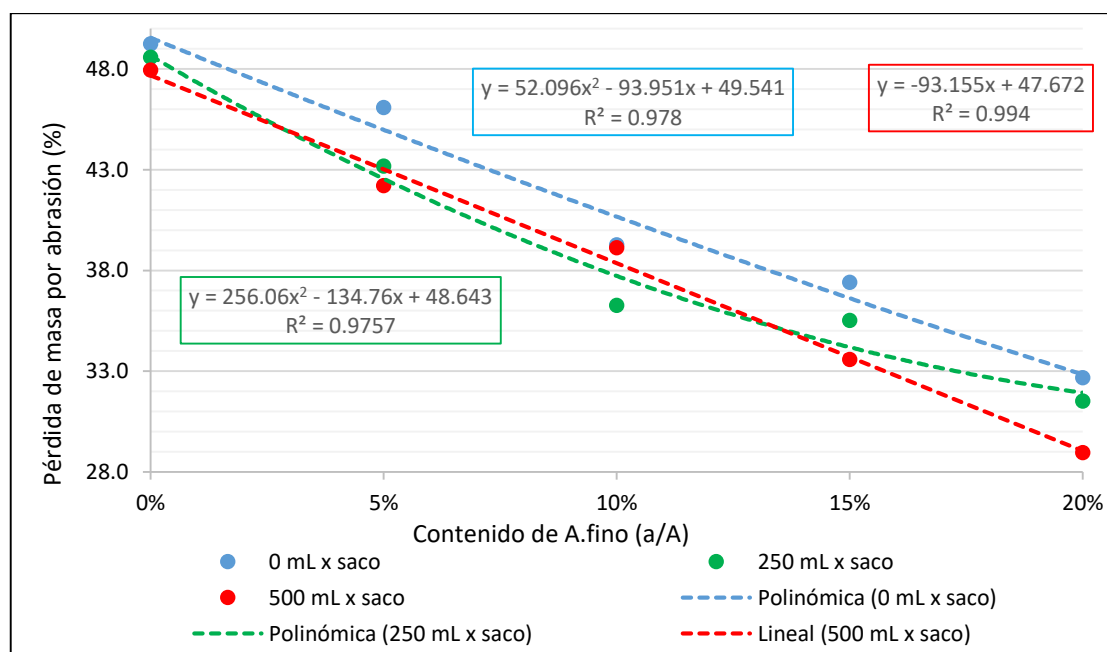


Figura 181 Resistencia al impacto y abrasión a los 28 días vs Contenido de agregado fino

Del gráfico anterior, se advierte una correspondencia lineal decreciente entre el contenido de agregado fino y la pérdida de masa por impacto y abrasión cuando se emplea 500 mL aditivo por bolsa de cemento en las mezclas. Por otra parte, para los diseños sin aditivo y con 250 mL aditivo por bolsa de cemento la curva de regresión polinómica es la que mejor relaciona el contenido de agregado fino y la pérdida de masa por impacto y abrasión.

En conclusión, a medida que aumenta la resistencia a la compresión en las mezclas de concreto permeable incrementa la resistencia a abrasión de las mismas, reduciéndose la pérdida de masa cuando son cometidas al fenómeno de impacto y abrasión.

Por otra parte, se puede advertir que el uso de una cantidad de 10% en adelante de agregado fino; produce pérdidas de masas inferiores al 40%. Siendo 40% el valor máximo de pérdida de masa recomendado por Sparkman para lograr un adecuado desempeño del concreto permeable cuando es utilizado en pavimentos permeables.

D) Coeficiente de permeabilidad y contenido de agregado fino (a/A)

En el siguiente gráfico se muestra la influencia de incorporar 5 cantidades diferentes de agregado fino (0%, 5%, 10%, 15% y 20%) sobre el coeficiente de permeabilidad o infiltración del concreto permeable.

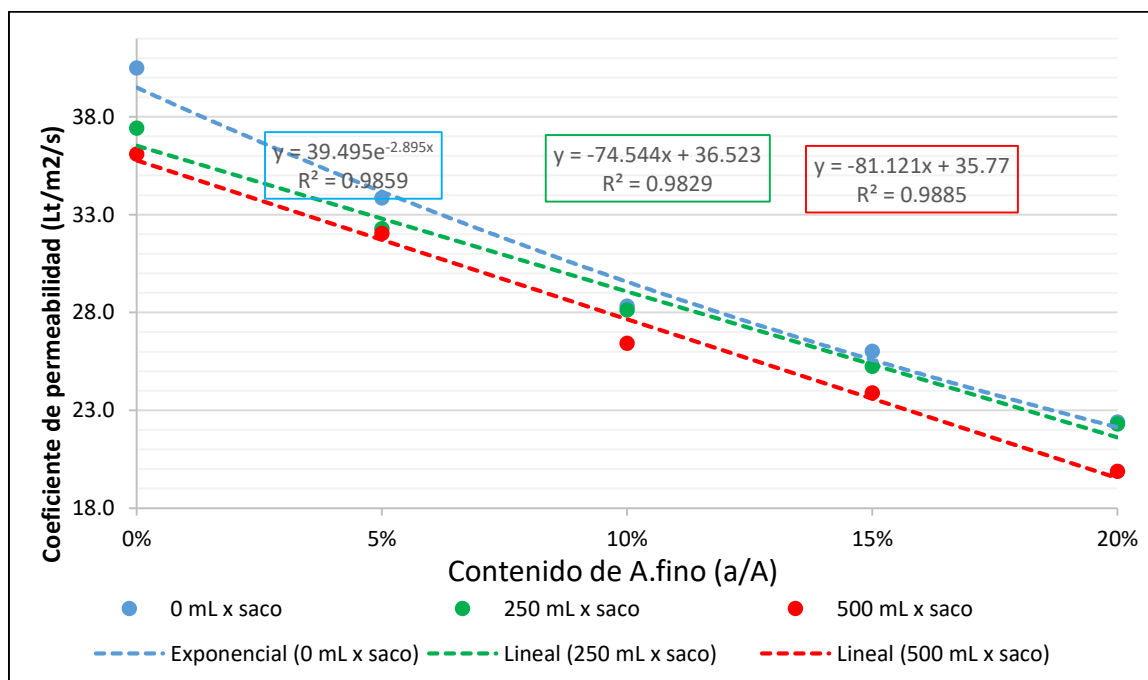


Figura 182 Coeficiente de infiltración vs Contenido de agregado fino

Del gráfico anterior, se advierte una correspondencia lineal decreciente entre el contenido de agregado fino y el coeficiente de permeabilidad para los diseños sin aditivo y con 250 mL

aditivo por bolsa de cemento en las mezclas. Por otra parte, para los diseños con 500 mL de aditivo por bolsa de cemento la curva de regresión exponencial es la que mejor relaciona el contenido de agregado fino y la pérdida de masa por impacto y abrasión.

En relación a ello, Guizado y Curi han encontrado una relación exponencial cuando se correlaciona el coeficiente de permeabilidad con la resistencia a compresión. Si tomamos en cuenta que la resistencia a compresión está relacionada con el contenido de agregado de fino en el concreto permeable, podemos ver con los resultados encontrados que esta relación se extiende a la relación del contenido de agregado fino con el coeficiente de permeabilidad.

Por otro lado, se observa una disminución de la capacidad de infiltrar agua del concreto permeable representada por el coeficiente permeabilidad a medida que se incrementa el contenido de agregado fino y aditivo.

En conclusión, añadir agregado fino y aditivo permite que la pasta fluya hacia el sistema de poros reduciendo la capacidad de filtrar agua del mismo. Sin embargo, la mezcla M-15 con el menor coeficiente de permeabilidad (19.9 L/m²/s) supera en 780 veces la capacidad demandada durante el último Fenómeno del Niño (0.0254 L/m²/s). En relación a ello, Sparkman señala una capacidad mínima de infiltración de 2.8 L/m²/s para que el concreto permeable se desempeñe de forma eficiente.

Por último, si bien la capacidad de infiltrar agua no es un limitante del concreto permeable, la utilización de cantidades superiores al 20% de agregado fino como señala la norma ACI - 522R origina una discontinuidad del sistema de poros y una obstrucción del mismo cuando entra en servicio, pues se disminuye el tamaño de poros del concreto.

5.2. Evaluación económica de las mezclas de estudio

A) Diseños que cumplen los requisitos de resistencia de la norma CE 010

Se realizó el análisis de costos unitarios a las mezclas M-13, M-14 y M-15 por cumplir con la resistencia mínima a compresión de 175 kg/cm² para pavimentos empleados en ciclovías, veredas y pases peatonales de acuerdo a la norma CE 010 Pavimentos Urbanos.

El precio de los materiales como el cemento, la arena gruesa, la piedra chanchada de 3/4", el aditivo SikaCem Plastificante fueron tomados de los gastos efectuados en la compra de materiales para la presente investigación. El costo de la mano de obra y equipos se obtuvo de la revista "COSTOS Construcción, Arquitectura e Ingeniería" del mes de setiembre del 2019.

Tabla 75 Costo de concreto permeable en pavimentos de 175 kg/cm² (M-13)

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS						
Partida:	Concreto permeable f'c=175 kg/cm ²					
Especificaciones:	Con 20% de finos y sin aditivo					
Cuadrilla	1 operario + 1 oficial + 7 peones				Unidad	m3
Rendimiento	10		m3/día		N°Horas	8
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U	Parcial	Total
MATERIALES						257.3
Cemento Portland Tipo I	bls	----	7.4	27.00	198.98	
Arena gruesa	m3	----	0.194	36.00	6.99	
Piedra chanchada 1/2"	m3	----	0.859	50.00	42.96	
Agua	m3	----	0.099	5.00	0.50	
Aditivo	L	----	0.0	8.48	0.00	
Polietileno 0.10 mm	m2	----	5.3	1.49	7.82	
MANO DE OBRA						119.9
Operario	hh	1	0.80	21.88	17.50	
Oficial	hh	1	0.80	17.52	14.02	
Peón	hh	7	5.60	15.79	88.42	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						35.7
Mezcladora 9p3 (9.5 HP)	hm	1	0.80	18.00	14.40	
Rodillo. manual 2.5 HP	hm	0.5	0.40	38.27	15.31	
Herramientas (5% M.O)	%M.O			5.00	6.00	
Costo unitario total						412.9

Tabla 76 Costo de concreto permeable en pavimentos de 175 kg/cm² (M-14)

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS						
Partida:	Concreto permeable f'c=175 kg/cm ²					
Especificaciones:	Con 20% de finos y 250 mL x saco					
Cuadrilla	1 operario + 1 oficial + 7 peones				Unidad	m ³
Rendimiento	10		m ³ /día		N°Horas	8
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U	Parcial	Total
MATERIALES						272.8
Cemento Portland Tipo I	bls	----	7.4	27.00	198.98	
Arena gruesa	m ³	----	0.194	36.00	6.99	
Piedra chanchada 1/2"	m ³	----	0.859	50.00	42.97	
Agua	m ³	----	0.094	5.00	0.47	
Aditivo	L	----	1.8	8.48	15.61	
Polietileno 0.10 mm	m ²	----	5.3	1.49	7.82	
MANO DE OBRA						119.9
Operario	hh	1	0.80	21.88	17.50	
Oficial	hh	1	0.80	17.52	14.02	
Peón	hh	7	5.60	15.79	88.42	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						35.7
Mezcladora 9p3 (9.5 HP)	hm	1	0.80	18.00	14.40	
Rodillo manual 2.5 HP	hm	0.5	0.40	38.27	15.31	
Herramientas (5% M.O)	%M.O			5.00	6.00	
Costo unitario total						428.5

Utilizar 250 mL de aditivo por saco genera un costo adicional de S/15.6 por metro cúbico, sin embargo, esto no se refleja en un incremento de la resistencia o trabajabilidad del concreto permeable.

Tabla 77 Costo de concreto permeable en pavimentos de 210 kg/cm² (M-15)

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS						
Partida:	Concreto permeable f'c=210 kg/cm ²					
Especificaciones:	Con 20% de finos y 500 mL x saco					
Cuadrilla	1 operario + 1 oficial + 7 peones				Unidad	m ³
Rendimiento	10		m ³ /día		N°Horas	8
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U	Parcial	Total
MATERIALES						289.3
Cemento Portland Tipo I	bls	----	7.4	27.00	198.98	
Arena gruesa	m ³	----	0.198	36.00	7.11	
Piedra chanchada 1/2"	m ³	----	0.874	50.00	43.72	
Agua	m ³	----	0.089	5.00	0.45	
Aditivo	L	----	3.7	8.48	31.23	
Polietileno 0.10 mm	m ²	----	5.3	1.49	7.82	
MANO DE OBRA						119.9
Operario	hh	1	0.80	21.88	17.50	
Oficial	hh	1	0.80	17.52	14.02	
Peón	hh	7	5.60	15.79	88.42	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						27.5
Mezcladora 9p3 (9.5 HP)	hm	1	0.80	12.82	10.26	
Rodillo manual 2.5 HP	hm	0.5	0.40	28.18	11.27	
Herramientas (5% M.O)	%M.O			5.00	6.00	
Costo unitario total						436.8

Utilizar 500 mL de aditivo por saco genera un costo adicional de S/ 23.9 por metro cúbico, así mismo, produce un aumento del 11% de la resistencia y 25% de la trabajabilidad.

Adicionalmente, se presenta el análisis de costos de un concreto convencional para resistencias de 175 kg/cm² y 210 kg/cm²; con piedra de 3/4" y un asentamiento de 4". Las proporciones de los materiales por metro cubico, rendimientos y cuadrillas se obtuvieron del libro Costos y Presupuestos en Edificaciones de CAPECO.

Tabla 78 Costo de concreto en pavimentos de 175 kg/cm²

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS						
Partida:	Concreto f'c=175 kg/cm ²					
Especificaciones:	Con piedra de 3/4" y Asentamiento 4"					
Cuadrilla	1 operario + 1 oficial + 7 peones				Unidad	m ³
Rendimiento	10		m ³ /día		N°Horas	8
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U	Parcial	Total
MATERIALES						276.7
Cemento Portland Tipo I	bls	----	8.4	27.00	227.61	
Arena gruesa	m ³	----	0.490	36.00	17.64	
Piedra chanchada 1/2"	m ³	----	0.610	50.00	30.50	
Agua	m ³	----	0.184	5.00	0.92	
MANO DE OBRA						119.9
Operario	hh	1	0.80	21.88	17.50	
Oficial	hh	1	0.80	17.52	14.02	
Peón	hh	7	5.60	15.79	88.42	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						19.1
Mezcladora 9p3 (9.5 HP)	hm	1	0.80	12.82	10.26	
Vibrador 4 HP	hm	0.5	0.40	7.09	2.84	
Herramientas (5% M.O)	%M.O			5.00	6.00	
Costo unitario total						415.7

La utilización de concreto permeable produce un ahorro de S/2.8 por metro cubico para resistencias de 175 kg/cm².

Tabla 79 Costo de concreto en pavimentos de 210 kg/cm²

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS						
Partida:	Concreto f'c=210 kg/cm ²					
Especificaciones:	Con piedra de 3/4" y Asentamineto 4"					
Cuadrilla	1 operario + 1 oficial + 7 peones				Unidad	m ³
Rendimiento	10		m ³ /día		N°Horas	8
Descripción	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	P.U	Parcial	Total
MATERIALES						310.9
Cemento Portland Tipo I	bls	----	9.7	27.00	262.71	
Arena gruesa	m ³	----	0.480	36.00	17.28	
Piedra chanchada 1/2"	m ³	----	0.600	50.00	30.00	
Agua	m ³	----	0.185	5.00	0.93	
MANO DE OBRA						119.9
Operario	hh	1	0.80	21.88	17.50	
Oficial	hh	1	0.80	17.52	14.02	
Peón	hh	7	5.60	15.79	88.42	
EQUIPO Y HERRAMIENTAS						19.1
Mezcladora 9p3 (9.5 HP)	hm	1	0.80	12.82	10.26	
Vibrador 4 HP	hm	0.5	0.40	7.09	2.84	
Herramientas (5% M.O)	%M.O			5.00	6.00	
Costo unitario total						449.9

La utilización de concreto permeable produce un ahorro de S/13.1 por metro cúbico para resistencias de 210 kg/cm².

La reducción de los costos se debe a la utilización de menores cantidades de cemento por metro cúbico.

A) Diseños que no cumplen los requisitos de resistencia de la norma CE 010

A continuación, se muestra el costo de los materiales para los diseños que no alcanzaron la resistencia mínima a compresión señalada en la norma CE 010.

Tabla 80 Costo de materiales en muestras de estudio

N°	Aditivo kg	Agua kg	Cemento kg	A.grueso kg	A.fino kg	a/c	Red H2O	Slump cm	f'c 28 días kg/cm2	Precio
M-1	0.00	90.2	281.1	1399.8	0.0	0.321	0 %	0.0	82.0	S/226.5
M-2	1.98	85.7	281.1	1396.9	0.0	0.305	5 %	0.0	99.6	S/240.4
M-3	3.97	81.2	281.1	1399.3	0.0	0.289	10 %	0.0	92.8	S/254.5
M-4	0.00	92.5	289.1	1326.5	63.9	0.320	0 %	0.0	101.9	S/230.7
M-5	2.04	87.9	289.1	1339.8	64.5	0.304	5 %	0.0	113.6	S/245.6
M-6	4.08	83.3	289.1	1356.0	65.3	0.288	10 %	0.0	117.8	S/260.5
M-7	0.00	94.8	297.2	1306.3	132.8	0.319	0 %	1.0	122.5	S/236.8
M-8	2.10	90.1	297.2	1300.0	132.1	0.303	5 %	1.0	123.7	S/251.4
M-9	4.20	85.4	297.2	1383.8	140.7	0.287	10 %	1.2	128.8	S/269.2
M-10	0.00	97.1	305.2	1302.2	210.2	0.318	0 %	1.0	139.0	S/243.6
M-11	2.15	92.3	305.2	1330.3	214.8	0.302	5 %	1.3	143.7	S/259.9
M-12	4.31	87.4	305.2	1335.7	215.6	0.286	10 %	1.4	154.0	S/275.3

Las mezclas con resistencias inferiores a los 140 kg/cm² se pueden utilizar en sardineles, pisos para rellenos de jardinería y veredas de bajo tránsito. En estos casos el costo promedio del concreto permeable es superior en un 10% a 20% con respecto a los materiales tradicionales, sin embargo, su beneficio se refleja en la capacidad de absorber grandes volúmenes de agua en poco tiempo.

5.3. Selección de diseños para diferentes usos

A continuación, se muestra un resumen de las propiedades del concreto permeable y el costo de los materiales por metro cúbico para los diseños de estudio.

Los datos sombreados de color rojo no cumplen los requisitos de las normas aplicables al concreto permeable o a los pavimentos urbanos y los de color verde cumplen con estos requerimientos.

En el caso del asentamiento, si bien lo recomendable es un mínimo de 2.54 cm en pavimentos, el concreto permeable tiene requisitos especiales que permiten su uso cuando este no presenta asentamiento.

Tabla 81 Resumen de las propiedades en las mezclas de estudio

N°	Slump (cm)	Temp (°C)	D (kg/m ³)	V (%)	Perm. Lt/m ² /s	f'r Kg/cm ²	f'c Kg/cm ²	Abra. (%)	Costo
M-1	0.0	24.0	1740	33.52	40.5	11.4	82.0	49.2	S/226.5
M-2	0.0	24.1	1750	33.32	37.4	11.9	99.6	48.6	S/240.4
M-3	0.0	23.9	1751	33.47	36.1	12.9	92.8	47.9	S/254.5
M-4	0.0	24.5	1758	32.49	33.8	13.1	101.9	46.1	S/230.7
M-5	0.0	24.3	1771	32.24	32.3	18.9	113.6	43.2	S/245.6
M-6	0.0	24.8	1790	31.74	32.0	19.0	117.8	42.2	S/260.5
M-7	1.0	23.8	1808	30.40	28.3	21.0	122.5	39.3	S/236.8
M-8	1.0	24.1	1820	30.11	28.1	21.6	123.7	36.3	S/251.4
M-9	1.2	24.0	1893	27.78	26.4	22.4	128.8	39.1	S/269.2
M-10	1.0	23.9	1905	26.57	26.0	23.4	139.0	37.4	S/243.6
M-11	1.3	24.0	1929	25.93	25.2	24.1	143.7	35.7	S/259.9
M-12	1.4	24.0	1929	26.16	23.9	24.8	154.0	33.6	S/275.3
M-13	1.5	23.8	1942	24.91	22.4	27.6	189.2	32.7	S/249.4
M-14	1.5	23.9	1941	25.15	22.3	29.0	190.5	31.7	S/265.0
M-15	2.0	24.0	1971	24.29	19.9	30.7	213.7	28.8	S/281.5

Las mezclas M-15, M-14 y M-13 cumplen los requerimientos mínimos para ser empleadas en veredas, pases peatonales y ciclovías, donde el módulo de rotura no es un factor determinante. Sin embargo, se recomienda el uso de la mezcla M-13 para resistencias mínimas de 175 kg/cm² por presentar el mismo desempeño que la mezcla M-14 a menor costo y la mezcla M-15 para resistencias mínimas de 210 kg/cm².

Las mezclas M-10, M-11 y M-12 pueden ser empleadas como veredas de bajo tránsito donde la resistencia promedio es de 140 kg/cm². Se recomienda el uso de la mezcla M-11 por presentar un balance entre trabajabilidad, resistencia y costo.

Las mezclas M-4 a M-9, pueden ser empleadas como sardineles o pisos en áreas verdes donde la resistencia promedio es de 100 kg/cm². Se recomienda el uso de la mezcla M-7 por presentar el mismo desempeño que la mezcla M-8 a menor costo.

Las mezclas M-1, M-2 y M-3, con resistencia superior a los 50 kg/cm² suelen ser empleadas como pases peatonales en áreas circundantes a árboles y jardines. Se recomienda el uso de la mezcla M-1 por cumplir con el requerimiento de resistencia a menor costo.

VI. Conclusiones

- El requerimiento de permeabilidad no es un factor determinante cuando el concreto permeable es elaborado con agregado de 3/4", pues el coeficiente mínimo de permeabilidad obtenido con 20% de agregado fino y 500 mL de aditivo por bolsa supera en 780 veces la intensidad de lluvia solicitada por el ultimo Fenómeno del Niño del año 1996.
- Para la elaboración de concretos permeables con agregado grueso de 3/4", la relación agua/cemento de 0.30 permite el adecuado recubrimiento de la superficie de los agregados logrando así un balance entre la resistencia y permeabilidad del concreto.
- Utilizando cantidades de agregado fino a partir del 10%, se obtiene un porcentaje de abrasión inferior al 40%, recomendado para el uso en pavimentos de bajo tránsito.
- La utilización de aditivo SikaCem Plastificante genera mejores resultados cuando se usa en combinación con cantidades de agregado fino de 15% y 20 %, logrando incrementos de la resistencia a compresión en un 11%.
- La relación entre resistencia a la compresión y flexión se asemeja a la correlación propuesta por el ACI 522-R cuando la resistencia a compresión es superior a los 120 kg/cm² o se emplea 10% de agregado fino en adelante.
- Empleando 10% de agregado fino en adelante ocasiona la presencia de un asentamiento diferente de 0 cm independientemente del uso del aditivo SikaCem Plastificante, sin embargo, no se logra alcanzar el requerido para concretos convencionales.
- La densidad en estado endurecido es menor a la obtenida en estado fresco debido a la fisuración de la estructura interna del concreto permeable cuando se da el proceso de hidratación; del mismo modo, el contenido de vacíos es mayor en estado endurecido.
- La utilización del aditivo SikaCem Plastificante en una cantidad de 500 mL por bolsa de cemento no genera un incremento significativo en el asentamiento del concreto permeable, pero si en la resistencia y trabajabilidad.
- La utilización de concreto permeable genera un ahorro de S/13.1 cuando se compara con concretos convencionales de resistencia de 210 kg/cm²; debido al menor contenido de cemento por metro cubico de concreto, el bajo costo de la maquinaria requerida para su consolidación, y la obtención de rendimiento similares a los del concreto convencional durante su fabricación.

VII. Recomendaciones

- Se recomienda emplear el diseño de M-15 con 20% de agregado fino y 500 mL de aditivo SikaCem Plastificante por bolsa de cemento cuando se requiere una resistencia mínima a compresión de 210 kg/cm².
- Se recomienda emplear el diseño M-13 con 15% de agregado fino y sin aditivo para el vaciado de ciclovías y pases peatonales donde se requiere una resistencia mínima a compresión de 175 kg/cm².
- Se recomienda ampliar en 0.5% el volumen de pasta por cada 5% de agregado fino utilizado en el diseño de mezcla del concreto permeable con el fin de lograr el adecuado recubrimiento del agregado fino y grueso.
- No utilizar el método de presión para determinar el contenido de aire en las mezclas de concreto permeable por generar diferencias considerables con el contenido de vacíos real. En su remplazo emplear el método gravimétrico descrito en la norma NTP 339.230.
- Ajustar siempre el diseño de mezcla reemplazando en el volumen de vacíos teórico, el valor obtenido durante el ensayo gravimétrico de la norma NTP 339.230 realizado para un primer diseño donde se partió de las tablas del ACI-522.
- Si durante la verificación del volumen de diseño se encuentra un exceso de volumen de los materiales; este debe ser corregido eliminando volumen de agregado grueso hasta conseguir un volumen teórico de diseño igual al metro cúbico.
- Si durante la verificación del volumen de diseño, se encuentra un déficit de volumen de los materiales; este debe ser corregido agregando volumen de pasta hasta conseguir un volumen teórico de diseño igual al metro cúbico.
- Utilizar mezcladoras de concreto de gran volumen o en su defecto emplear simultáneamente varias mezcladoras para el vaciado de concreto permeable en pavimentos, con el fin de reducir los costos y aumentar la productividad del rodillo vibrador liso manual de compactación.

VIII. Referencias

- [1] F. Feliciani, «Retos de la adaptación al Cambio Climático: blindaje de la infraestructura pública,» *INFRAESTRUCTURAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO*, pp. 2-11, 2014.
- [2] INDECI, «BOLETIN ESTADISTICO VIRTUAL DE LA GESTION REACTIVA,» *BOLETIN ESTADISTICO VIRTUAL DE LA GESTION REACTIVA*, n° 10, p. 112, 2017.
- [3] RPP Noticias, «RPP Noticias,» 21 Marzo 2013. [En línea]. Available: <https://rpp.pe/peru/actualidad/lambayeque-exceso-de-pozos-tubulares-agota-agua-subterranea-en-motupe-noticia-578258>. [Último acceso: 21 Setiembre 2018].
- [4] C. Pelafox, A. Segovia Lopez, M. d. R. González Sandoval, L. Lizárraga Mendiola, F. J. Olgúin Coca y Y. Rangel Martínez, «Diseño de un concreto permeable para la recuperación de agua / A pervious concrete design for water recovery,» Mexico, 2014.
- [5] J. W. Gonzáles Vásquez y D. J. Túllume Paiva, «Diseño de mezclas de concreto poroso para pavimentos de tránsito Liviano,» Pimentel, 2015.
- [6] A. X. Guizado Barrios y E. R. Curi Grados, «Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú,» Lima, 2017.
- [7] Y. Paucar Curasma y F. W. Morales de la Cruz, «Influencia del agregado grueso de la cantera del río Ichu en el concreto permeable para pavimentos de bajo tránsito - f'c 175 kg/cm²,» Huancavelica, 2018.
- [8] D. H. Mora Villota, «Propiedades Mecánicas y de Permeabilidad de Concreto Fabricado con Agregado Reciclado,» Bogotá, 2016.
- [9] E. Cárdenas Gutiérrez, Á. Albitzer Rodríguez y J. Jaimes Jaramillo, «Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso de agua,» México, 2016.
- [10] H. . A. Cardona Maldonado, «Propiedades mecánicas y de filtración en hormigones permeables con cemento portland e hidráulicos,» Quito, 2017.
- [11] ACI CT-13, «ACI Concrete Terminology,» American Concrete Institute, 2013.
- [12] L. Stiffler, «Sightline Institute,» 3 Enero 2012. [En línea]. Available: <https://www.sightline.org/2012/01/03/the-porous-road-less-traveled/>. [Último acceso: 16 Setiembre 2018].
- [13] F. Abanto, *Tecnología del Concreto*, Lima: Editorial San Marcos E.I.R.L., 2009.
- [14] E. Carbajal, *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú*, Lima: Colegio de Ingenieros del Perú, 1998.
- [15] ACI 522R, Report on Pervious Concrete, American Concrete Institute, 2010.
- [16] NTP 400.037, «AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en concreto,» *Norma Técnica Peruana*, 2014.
- [17] A. E. Maldonado Lozano y L. Paredes Aguilar, «Soluciones tecnológicas para el diseño de secciones permeables en vías urbanas en la ciudad de Tarapoto,» Lima, 2015.
- [18] R. Meininger, «No-Fines Pervious Concrete for Paving,» *Concrete Internacional*, vol. 10, pp. 20-27, Agosto 1988.
- [19] S. Kosmatka, B. Kerkhoff, W. Panarese y J. Tenesi, *Diseño y Control de mezclas de Concreto*, Illinois: Portland Cement Association, 2004.
- [20] D. Pérez Ramos, «Estudio Experimental de Concreto Permeables con Agregados Andesíticos,» México D.F., 2009.
- [21] J. Quiñónez, «Porosidad del Concreto,» Guatemala, 2004.

- [22] NTP 400.012, «AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global.,» *Norma Técnica Peruana*, 2013.
- [23] NTP 339.185, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado,» *Norma Técnica Peruana*, 2013.
- [24] NTP 400.022, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino,» *Norma Técnica Peruana*, 2013.
- [25] Cementos Pacasmayo S.A.A. , «Arena Jaén,» 20 Setiembre 2017. [En línea]. Available: http://www.arenerajaen.com.pe/web/uploads/productos/pdf/f_477_Tipo%20Portland%20Tipo%20I%20-%20Agosto%202017.pdf. [Último acceso: 1 Abril 2019].
- [26] SIKA, «SIKA PERÚ,» 9 Julio 2016. [En línea]. Available: https://per.sika.com/content/peru/main/es/solutions_products/mercados_sika/sika-aditivos-concreto/aditivos-para-concreto/como-aplicar-sika-cem-plastificante.html. [Último acceso: 6 Abril 2019].
- [27] NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS, «Norma CE.010,» *Reglamento Nacional de Edificaciones*, 2018.
- [28] N. Neithalath, «Experimental Studies on Properties of Pervious Concrete Pavement Materials,» 2003.
- [29] NTP 400.019., «RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES,» *Norma Técnica Peruana*, 2014.
- [30] NTP 339.046, «CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento, y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigon (concreto),» *Norma Técnica Peruana*, 2013.
- [31] NTP 339.183., «CONCRETO. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio.,» *Norma Técnica Peruana*, 2013.
- [32] NTP 339.034., «CONCRETO. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas,» *Norma Técnica Peruana*, 2015.
- [33] Dirección General de Ordenamiento Territorial, «Estudio Geológico del Departamento de Lambayeque,» Lambayeque, 2013.
- [34] NTP 339.078., «CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo,» *Norma Técnica Peruana*, 2012.
- [35] M. Villón Béjar, Hidrología, Lima: MaxSoft, 2002.
- [36] Ministerio de Transporte y Comunicaciones , Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, Lima, 2018.
- [37] SENAMHI, El Evento el Niño Oscilación 1997-1998: Su Impacto en el Departamento de Lambayeque, Chiclayo, 2004.
- [38] INDECI, Descripción de las Principales Emergencias por Departamentos a nivel Nacional durante 1998, Lima, 2003.
- [39] W. Chereque Morán, Hidrología para estudiantes de Ingeniería Civil, Lima, 2003.
- [40] C. Flores y I. Pacompia, «Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos f'c 175 kg/cm² en la ciudad de Puno,» Puno, 2015.
- [41] A. Sparkman, Pervious Concrete - 2016 Estate of Practice, Tennessee, 2016.

- [42] NTP 339.230, «Concreto:Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacío del concreto permeable fresco,» *Norma Técnica Peruana*, 2018.
- [43] NTP 339.083, «Método de ensayo normalizado para contenido del aire de mezcla de hormigón (concreto) fresco por el método de presión.,» *Norma Técnica Peruana*, 2003.
- [44] NTP 339.184, «CONCRETO. Método de ensayo normalizado para determinar la temperatura de mezclas de concreto.,» *Norma Técnica Peruana*, 2018.
- [45] NTP 339.238, «CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad y contenido de vacíos del concreto permeable endurecido,» *Norma Técnica Peruana*, 2018.
- [46] ASTM C1701, «Standard Test Method for Infiltration Rate of In Place Pervious Concrete,» *ASTM INTERNATIONAL*, 2017.
- [47] NTP 339.239, «CONCRETO. Método de ensayo para determinar la resistencia a la degradación del concreto permeable por impacto y abrasión,» *Norma Técnica Peruana*, 2018.
- [48] ASTM C944, «Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method,» *ASTM INTERNATIONAL*, 2012.
- [49] NTP 400.018, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz 75 um (N°200) por lavado en agregados,» *Norma Técnica Peruana*, 2018.
- [50] NTP 400.015, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados.,» *Norma Técnica Peruana*, 2018.
- [51] NTP 339.114, «CONCRETO. Concreto premezclado. Requisitos,» *Norma Técnica Peruana*, 2016.
- [52] NTP 400.017, «AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado,» *Norma Técnica Peruana*, 2013.
- [53] NTP 334.099, «CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados. Método químico,» *Norma Técnica Peruana*, 2016 .
- [54] NTP 400.024, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar las impurezas orgánicas en el agregado fino para concreto,» *Norma Técnica Peruana*, 2016.
- [55] M. Rangelov, S. Nassiri y Z. Chen, «Quality Evaluation Tests for Pervious Concrete Pavements' Placement,» *International Journal of Pavement Research and*, p. 23, 2017.
- [56] M. Bury, D. Fisher y C. Mawby, «Making Pervious Concrete Using a Novel Admixture System,» 2006.
- [57] «World Climate Guide,» [En línea]. Available: <https://www.climatestotravel.com/climate/peru/chiclayo>. [Último acceso: 1 Noviembre 2019].
- [58] SENAMHI, [En línea]. Available: <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>. [Último acceso: 1 Noviembre 2019].
- [59] Autoridad Nacional del Agua. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos, «Estudio de la delimitación del ámbito territorial de la Administración Local de Agua: Chancay - Huaral,» Lima, 2013.
- [60] Gobierno Regional de Lambayeque, «ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE ZONIFICACIÓN ECOLÓGICA ECONÓMICA,» Lambayeque, 2012.
- [61] MINAM, «Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM,» 2017.
- [62] PCM, «DECRETO SUPREMO N° 085-2003,» 2003.
- [63] Seguridad durante la construcción , «G 050,» 2010.

- [64] NTP 400.021, «AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso.,» *Norma Técnica Peruana*, 2013.
- [65] ASTM D5821, «Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate,» *ASTM INTERNATIONAL*, 2017.
- [66] NTP 400.040 , «AGREGADOS. Partículas chatas o alargadas en el agregados grueso,» *Norma Técnica Peruana* , 2018.
- [67] NLT 354, «Indices de lajas y agujas de los áridos para carreteras,» *Normas del Laboratorio de Transportes* , 1991.
- [68] ASTM C1252, «Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate,» *ASTM Internacional* , 2017.
- [69] ASTM D3398, «Standard Test Method for Index of Aggregate Particle Shape and Texture,» *ASTM Internacional* , 2006.
- [70] NCHRP 405, «Aggregate Tests Related to Asphalt Concrete Performance in Pavements,» *National Cooperative Highway Research Program*, 1998.

IX. Anexos

Anexo 1: Análisis Granulométrico del Agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO FINO

REFERENCIA : NORMA ASTM C-136 o N.T.P. 400.012

ESCUELA: : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

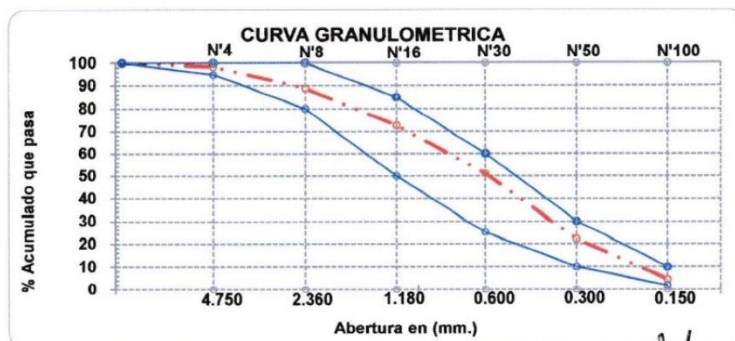
FECHA DEL ENSAYO : 11 DE ABRIL DEL 2019

CANTERA : PÁTAPO

MUESTRA : ARENA GRUESA

P. Inicial S. 346.63 g

Malla		Peso Ret.(g)	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	ASTM C-33:	
Pulg.	(mm.)					Lim.Sup	Lim.Inf
1/2"	12.700	0.00	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0	100	100
N° 04	4.750	5.52	1.6	1.6	98.4	95	100
N° 08	2.360	33.52	9.7	11.3	88.7	80	100
N° 16	1.180	56.27	16.2	27.5	72.5	50	85
N° 30	0.600	74.33	21.4	48.9	51.1	25	60
N° 50	0.300	100.57	29.0	78.0	22.0	10	30
N° 100	0.150	60.57	17.5	95.4	4.6	2	10
N° 200	0.074	14.64	4.2	99.7	0.3	---	---
Fondo		1.21	0.3	95.8	4.2		
Modulo de Fineza				2.627			



Rivadeneiro Obilitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 2: Material más fino que la malla N°200 del agregado fino



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA: JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS: “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO”

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

ENSAYO: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 µm (N° 200) por lavado en agregados

REFERENCIA: NORMA NTP 400.018 / ASTM C-117

FECHA DEL ENSAYO: 10 DE ABRIL DEL 2019

CANTERA: PÁTAPO

MUESTRA: ARENA GRUESA

Peso de la muestra seca antes del ensayo	350.00 g
Peso de la muestra seca después del ensayo	346.63 g
Peso de material menos que la N° 200	3.37 g
Material más fino que la malla (N° 200) por vía húmeda	0.96%


 Rivaldo Henry
 TECNICO DE LABORATORIO

Anexo 3: Cantidad de terrones de arcilla del agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA: JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS: : “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO”

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

ENSAYO: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados.

REFERENCIA: NORMA NTP 400.015 / ASTM C-142

FECHA DEL ENSAYO: 15 DE ABRIL DEL 2019

CANTERA: PÁTAPO

MUESTRA: ARENA GRUESA

Peso de la muestra de ensayo retenida sobre el tamiz N°16	57.51 g
Peso de la muestra retenida en el tamiz N°20 después del ensayo	55.92 g
Cantidad de terrones y partículas desmenuzables	1.59 g
Porcentaje de partículas desmenuzables y terrones de arcilla	2.76%


 Rivaldo Henry Obitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 4 Contenido de humedad del agregado fino



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA: JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS: : “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO”

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

ENSAYO: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

REFERENCIA: NORMA NTP 339.185 / ASTM C-566

FECHA DEL ENSAYO: 9 DE ABRIL DEL 2019

CANTERA: PÁTAPO

MUESTRA: ARENA GRUESA

Peso de la muestra humedad	500.00 g	500.00 g
Peso de la muestra seca	495.81 g	495.67 g
Contenido de humedad	0.84%	0.87%
Contenido de humedad (promedio)	0.85 %	


 Rivaldo J. J. Obilias Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA: JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS: : “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO”

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

ENSAYO: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

REFERENCIA: NORMA NTP 339.185 / ASTM C-566

FECHA DEL ENSAYO: 2 DE SETIEMBRE DEL 2019

CANTERA: PÁTAPO

MUESTRA: ARENA GRUESA

Peso de la muestra humedad	500.00 g	500.00 g
Peso de la muestra seca	494.91 g	495.23 g
Contenido de humedad	1.02%	0.95%
Contenido de humedad (promedio)	0.99%	


 Rivaldo Abitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 5: Peso específico y absorción del agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DEL ENSAYO : 08 DE ABRIL DEL 2019

ENSAYO : AGREGADOS. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

REFERENCIA : NTP 400.022

<u>Cantera</u>	: Pátapo		
<u>Muestra</u>	: Arena Gruesa		
A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.		g/cm ³	2.557
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.		g/cm ³	2.583
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE		g/cm ³	2.625
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.		%	1.01


 Rivaldo Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 6: Peso unitario del agregado fino



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DEL ENSAYO : 10 DE ABRIL DEL 2019

ENSAYO : AGREGADO. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR EL PESO UNITARIO DEL AGREGADO

REFERENCIA : NORMA ASTM C-29 6 N.T.P. 400.017

Muestra	: Arena		
Cantera	: Pátapo		
- Peso unitario suelto húmedo	kg/m ³	Kg/m ³	1592
- Peso unitario compactado húmedo	kg/m ³	Kg/m ³	1816


 Rivas Henry Obitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 7: Impurezas orgánicas del agregado fino



SOILS E.I.R.L.

Calle Aldabas N°410 – Apto N°302
Surco – Lima
R.U.C. 20548885974
Email: servicios@soilseirl.com

SOLICITUD DE ENSAYO: CS1632-EA

INFORME DE ENSAYO EN AGREGADOS

SOLICITADO POR: Jorge Ernesto Jacinto Aquino
PROYECTO/TESIS: "Diseño de mezcla de concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivos en la ciudad de Chiclayo 2019".
UBICACIÓN: Chiclayo, Lambayeque.
FECHA DE ENSAYO: 04/10/2019
EQUIPOS UTILIZADOS: Balanza con division de escala de 0.001 g., capacidad máxima 210 g. Marca Ohaus, clase III. Certificado y fecha de calibración CCB-167-2019, 2019-09-12.
Horno con alcance de indicación de 232°C, marca Quincy Lab. Certificado y fecha de calibración CMI-011-2019, 2019-09-14.
Baño de agua circulante y de temperatura constante, marca Humboldt.
Tamices de abertura N°50 y N°100, marca ELE International.

Norma de Ensayo		Denominación
Norma Técnica Peruana 400.024:2016	American Society for Testing and Materials C40	MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LAS IMPUREZAS ORGÁNICAS EN EL AGREGADO FINO PARA CONCRETO

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA: Agregado fino grueso. Cantera Pátapo.
PROCEDENCIA: Chiclayo, Lambayeque.

RESULTADOS DEL ENSAYO

SOLUCIÓN UTILIZADA	COLOR GARDNER PATRÓN	DESCRIPCIÓN
NaOH (Hidróxido de Sodio al 3%)	N°1	NO PRESENTA IMPUREZAS

OBSERVACIONES:

- La muestra de agregado y su identificación fue proporcionada por el Solicitante.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
- El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.

Lima, 07.10.2019



Anexo 8: Reactividad potencial álcali-sílice del agregado fino



SOILS E.I.R.L.

Calle Aldabas N°410 – Apto N°302
Surco – Lima
R.U.C. 20548885974
Email: servicios@soilseirl.com

SOLICITUD DE ENSAYO: CS1632-EA

INFORME DE ENSAYO EN AGREGADOS

SOLICITADO POR: Jorge Ernesto Jacinto Aquino
 PROYECTO/TESIS: "Diseño de mezcla de concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivos en la ciudad de Chiclayo 2019".
 UBICACIÓN: Chiclayo, Lambayeque.
 FECHA DE ENSAYO: 02/10/2019
 EQUIPOS UTILIZADOS: Balanza con division de escala de 0.001 g., capacidad máxima 210 g. Marca Ohaus, clase III. Certificado y fecha de calibración CCB-167-2019, 2019-09-12.
 Horno con alcance de indicación de 232°C, marca Quincy Lab. Certificado y fecha de calibración CMI-011-2019, 2019-09-14.
 Baño de agua circulante y de temperatura constante, marca Humboldt.
 Tamices de abertura N°50 y N°100, marca ELE International.

Norma de Ensayo		Denominación
Norma Técnica Peruana 334.099:2011	American Society for Testing and Materials C289	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALI-SÍLICE DE LOS AGREGADOS. MÉTODO QUÍMICO.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA: Agregado fino grueso. Cantera Pátapo.
 PROCEDENCIA: Pátapo, Chiclayo, Lambayeque.

RESULTADOS DEL ENSAYO

SOLUCIÓN UTILIZADA	CONCENTRACIÓN DE SiO ₂ (Sílice Soluble)	REDUCCIÓN DE ALCALINIDAD
NaOH (Hidróxido de Sodio)	27.25 mmol/L	25.80 mmol/L
	0.164 %	0.094 %

OBSERVACIONES:

- La muestra de agregado y su identificación fue proporcionada por el Solicitante.
- Los resultados se muestran en mmol/L. Las conversiones realizadas en otras unidades pueden diferir según el criterio y/o la interpretación de los mismos.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
- El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.

Lima, 07.10.2019



Anexo 9 Contenido de vacíos del agregado fino no compactado (Angularidad)



A&M GEOTÉCNICA Y MECÁNICA DE SUELOS S.A.C.

ENSAYOS DE SUELOS - CONCRETO - ASFALTO - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES
Av. Chiclayo Mz. 3 Lt. 62 - S. Cantoral Chiclayo, Telf. 074-237420 - Cel. 979644184 - RPM.#979644184

ANGULARIDAD AGREGADO FINO

(MTC E222-2000 NATIONAL AGGREGATES ASSOCIATION)

SOLICITANTE : TESISISTA JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO
 TESIS : "DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
 FECHA : 13/01/2020
 CANTERA : LA VICTORIA - DISTRITO DE PATAPO
 MUESTRA : ARENA GRUESA

A	Volumen Molde (Proctor Standart 4")	cc	932.00	932.00	932.00		
B	Peso Agregado empleado < 2.36 mm	gr	1385.00	1377.00	1385.00		
C	Peso Especifico Bulk material fino (Nº6 - Nº200)	gr/cc	2.689	2.689	2.689		
D	Volumen empleado para colmar molde	cc	515.1	512.1	515.1		
E	% Vacíos : Angularidad Agregado	%	44.7	45.1	44.7		
F	Promedio						44.8

A & M GEOTÉCNICA Y MECÁNICA DE SUELOS S.A.C.

Mario Ortiz Puelles
 TÉCNICO LABORATORIO

A & M GEOTÉCNICA Y MECÁNICA DE SUELOS S.A.C.

Juan León Martínez
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. 117332

Anexo 10: Granulometría del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS

Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

ENSAYO : ANÁLISIS GRANUMOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO

REFERENCIA : NORMA ASTM C-136 o N.T.P. 400.012

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JORGE ERNESTO JACINTO AQUINO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSEYO : 01 DE ABRIL DE 2019

CANTERA : TRES TOMAS - DISTRITO DE MESONES MURO

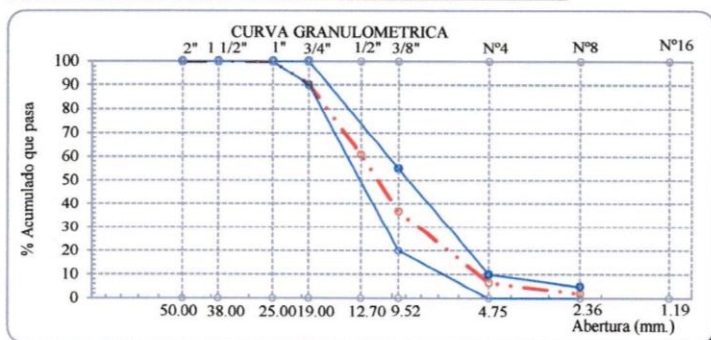
MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 3/4"

Peso Hum. : 5000 g

Peso Seco : 4976 g

Cont.Hm= 0.47 %

Malla	Peso	(%)	(%) Acum.	(%) Acum.	ASTM C-33:
Pulg.	(mm.)	Ret.	Ret.	Que Pasa	Lim.Sup / Lim.Inf
2"	50.00	0.0	0.0	100.0	100 / 100
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	100.0	100 / 100
1"	25.00	0.0	0.0	100.0	100 / 100
3/4"	19.00	488.0	9.8	90.2	100 / 90
1/2"	12.70	1459.0	29.3	60.9	--- / ---
3/8"	9.52	1201.0	24.1	36.7	20 / 55
Nº 04	4.75	1504.0	30.2	6.5	10 / 0
Nº 08	2.36	229.9	4.6	1.9	5 / 0
Nº 16	1.19	49.8	1.0	0.9	--- / ---
Fondo		44.7	0.9	0.0	
Tamaño Máximo			1"	19.00	Huso Granulométrico / 67
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	12.70	



Rivadeneira Jblitas Henz
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

ENSAYO : ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO DEL AGREGADO GRUESO

REFERENCIA : NORMA ASTM C-136 o N.T.P. 400.012

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

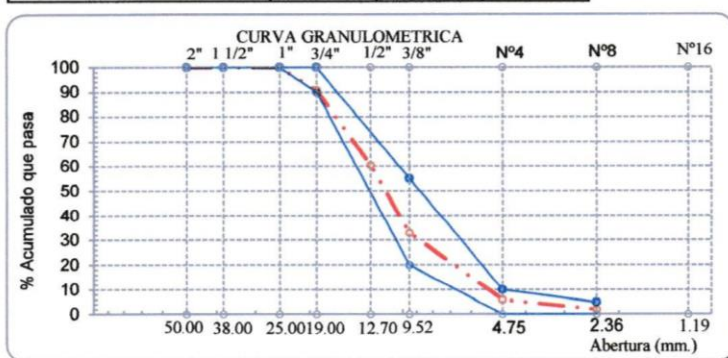
FECHA DE ENSAYO : 01 DE ABRIL DEL 2019

CANTERA : LA VICTORIA - DISTRITO DE PÁTAPO

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 3/4"

Peso Hum. : 5000 g Peso Seco : 4978 g Cont.Hm= 0.45 %

Malla		Peso Ret.	(% Ret.)	(% Acum. Ret.)	(% Acum. Que Pasa)	ASTM C-33:	
Pulg.	(mm.)					Lim.Sup	Lim.Inf
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/4"	19.00	462.0	9.3	9.3	90.7	100	90
1/2"	12.70	1510.0	30.3	39.6	60.4	---	---
3/8"	9.52	1374.0	27.6	67.2	32.8	20	55
N° 04	4.75	1337.0	26.9	94.1	5.9	10	0
N° 08	2.36	199.2	4.0	98.1	1.9	5	0
N° 16	1.19	55.5	1.1	99.2	0.8	---	---
Fondo		39.8	0.8	100.0	0.0		
Tamaño Máximo			1"	25.00	Huso Granulométrico		67
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	19.00			



[Firma]
Rivadomeyro Jolitas Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 11: Material más fino que la malla N°200 del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA: JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS: : “DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO”

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

ENSAYO: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados

REFERENCIA: NORMA NTP 400.018 / ASTM C-117

FECHA DEL ENSAYO: 10 DE ABRIL DEL 2019

CANTERA: LA VICTORIA DISTRITO DE PATAPO

MUESTRA: : PIEDRA CHANCADA 3/4"

Peso de la muestra seca antes del ensayo	2500 g
Peso de la muestra seca después del ensayo	2482 g
Peso de material menos que la N° 200	18 g
Material más fino que la malla (N° 200) por vía húmeda	0.72%

[Firma manuscrita]
 RIVERA HENRY
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 12: Cantidad de terrones de arcilla en el agregado grueso



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA: JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBA YEQUE

ENSAYO: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para terrones de arcilla y partículas desmenuzables en los agregados.

REFERENCIA: NORMA NTP 400.015 / ASTM C-142

FECHA DEL ENSAYO: 15 DE ABRIL DEL 2019

CANTERA: LA VICTORIA - DISTRITO DE PÁTAPO

MUESTRA: PIEDRA CHANCADA 3/4"

Mallas Pasa	Retiene	Peso retenido(g)	% retenido	Peso Mínimo (g)
Mayor a 1 1/2"	1 1/2"	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	3/4"	3115.0	17.0	3000.0
3/4"	3/8"	9701.0	53.0	2000.0
3/8"	N°4	5498.0	30.0	1000.0
Total		18314.0	100.0	6000.0

Tamaño de las partículas de la muestra	N°4 a 3/8"	3/8" a 3/4"	3/4" a 1 1/2"	Mayor 1 1/2"
Peso de la muestra de ensayo retenida	1000.00 g	2000.00 g	3000.00 g	0.00 g
Peso de la muestra retenida en el tamiz N°4 o N°8	987.00 g	1968.00 g	2990.00 g	0.00 g
Cantidad de terrones y partículas desmenuzables	13.00 g	32.00 g	10.00 g	0.00 g
% de partículas desmenuzables y terrones de arcilla	1.30%	1.60%	0.33%	0.33%
% promedio de partículas desmenuzables y terrones de arcilla	0.89%			

[Firma manuscrita]
 Rinao Reyes Oblitas Henz
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 13: Contenido de humedad del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA: ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA: JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS: : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN: DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

ENSAYO: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado

REFERENCIA: NORMA NTP 339.185 / ASTM C-566

FECHA DEL ENSAYO: 2 DE SETIEMBRE DEL 2019

CANTERA: LA VICTORIA - DISTRITO DE PÁTAPO

MUESTRA: PIEDRA CHANCADA 3/4"

Peso de la muestra humedad	3000.00 g	3000.00 g
Peso de la muestra seca	2982.00 g	2985.00 g
Contenido de humedad	0.60%	0.50%
Contenido de humedad (promedio)	0.55 %	


 Ricardo Obitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 14: Peso específico y absorción del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA: : ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 02 DE ABRIL DEL 2019

ENSAYO : AGREGADO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO

REFERENCIA : NTP 400.022

Cantera	: La Victoria - Distrito de Pátapo	
Muestra	: Piedra Chancada 3/4	
<hr/>		
A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA	g/cm^3	2.801
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	g/cm^3	2.824
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	g/cm^3	2.867
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	%	0.82


 Ricardo Obilias Aenti,
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 15: Peso unitario del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 02 DE ABRIL DEL 2019

ENSAYO : AGREGADO. Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado

REFERENCIA : Norma ASTM C-29 6 N.T.P. 400.017

Muestra	: La Victoria - Distrito de Pátapo	
Cantera	: Piedra Chancada 3/4"	
- Peso unitario suelto húmedo kg/m ³	Kg/m ³	1473
- Peso unitario compactado húmedo kg/m ³	Kg/m ³	1616

[Handwritten Signature]
 RINOSVEYTO Obilitas Jent
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 16: Resistencia al desgaste por abrasión del agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FEHA DEL ENSAYO : 13 DE MAYO DEL 2019

ENSAYO RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS GRUESOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES

REFERENCIA : NORMA MTC E 207 / ASTM C-131

CANTERA : LA VICTORIA - DISTRITO DE PÁTAPO

I.- Granulometría global

Mallas Pasa	Retiene	Peso retenido(g)	% retenido	Método B
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	854.0	12.8	0.0
3/4"	1/2"	3012.0	45.3	2500.0
1/2"	3/8"	2783.0	41.9	2502.0
Total		6649.0	100.0	5002.0

II.- Ensayo de Abrasión

- Peso inicial antes del ensayo	5002.0
- Peso final después de las 500 revoluciones	4070.0

III.- Cálculos

- % de desgaste por abrasión	18.6
------------------------------	------

NOTA :

- Método de ensayo a usar: Gradación "B", N° de esferas : 11, Revoluciones : total 500


 RIVERO MEYTA Jolitas Jenry
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 17: Reactividad potencial álcali-sílice del agregado grueso



Calle Aldabas N°410 – Apto N°302
Surco – Lima
R.U.C. 20548885974
Email: servicios@soilseirl.com

SOLICITUD DE ENSAYO: CS1632-EA

INFORME DE ENSAYO EN AGREGADOS

SOLICITADO POR: Jorge Ernesto Jacinto Aquino
PROYECTO/TESIS: "Diseño de mezcla de concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivos en la ciudad de Chiclayo 2019".
UBICACIÓN: Chiclayo, Lambayeque.
FECHA DE ENSAYO: 02/10/2019
EQUIPOS UTILIZADOS: Balanza con división de escala de 0.001 g., capacidad máxima 210 g. Marca Ohaus, clase III. Certificado y fecha de calibración CCB-167-2019, 2019-09-12.
Horno con alcance de indicación de 232°C, marca Quincy Lab. Certificado y fecha de calibración CMI-011-2019, 2019-09-14.
Baño de agua circulante y de temperatura constante, marca Humboldt.
Tamices de abertura N°50 y N°100, marca ELE International.

Norma de Ensayo		Denominación
Norma Técnica Peruana 334.099:2011	American Society for Testing and Materials C289	MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD POTENCIAL ÁLCALI-SÍLICE DE LOS AGREGADOS. MÉTODO QUÍMICO.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA

MUESTRA: Agregado grueso chancado. Tamaño máximo nominal 3/4". Cantera La Victoria.
PROCEDENCIA: Pátapo, Chiclayo, Lambayeque.

RESULTADOS DEL ENSAYO

SOLUCIÓN UTILIZADA	CONCENTRACIÓN DE SiO ₂ (Sílice Soluble)	REDUCCIÓN DE ALCALINIDAD
NaOH (Hidróxido de Sodio)	13.60 mmol/L	11.85 mmol/L
	0.082 %	0.043 %

OBSERVACIONES:

- La muestra de agregado y su identificación fue proporcionada por el Solicitante.
- Los resultados se muestran en mmol/L. Las conversiones realizadas en otras unidades pueden diferir según el criterio y/o la interpretación de los mismos.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad.
- El laboratorio no se hace responsable por el mal uso de los resultados presentados.

Lima, 07.10.2019


Carlos Orellana Piedra
Jefe de Operaciones




ADOLFO E. CAMAYO GINCHE
Ingeniero Civil
Reg. CIP. N° 153550



Anexo 18 Porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y
 PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

ENSAYO : MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA LA DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS FRACTURADAS EN EL AGREGADO GRUESO

REFERENCIA : NORMA ASTM D 5821 o MTC 210

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 15 DE ENERO DEL 2020

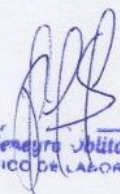
CANTERA : LA VICTORIA - DISTRITO DE PÁTAPO

MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 3/4"

Pasa	Retenido	Peso (g) Ret.	% Ret.	Peso inicial (g)	Peso con 1 cara fract.(g)	% caras fract.	% Prom. caras fract
2"	1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	1598.0	8.9	1500.0	1410.0	94.0	8.4
3/4"	1/2"	8607.0	48.0	1200.0	1110.0	92.5	44.4
1/2"	3/8"	7731.0	43.1	300.0	291.5	97.2	41.9
PESO TOTAL		17936.0	100.0	3000.0	Partículas con una o más caras fracturadas		94.6

Pasa	Retenido	Peso (g) Ret.	% Ret.	Peso inicial (g)	Peso con 2 cara fract.(g)	% caras fract.	% Prom. caras fract
2"	1 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	1598.0	8.9	1500.0	1280.0	85.3	7.6
3/4"	1/2"	8607.0	48.0	1200.0	960.0	80.0	38.4
1/2"	3/8"	7731.0	43.1	300.0	278.9	93.0	40.1
PESO TOTAL		17936.0	100.0	3000.0	Partículas con dos o más caras fracturadas		86.1

Partículas con una o más caras fracturadas	94.6 %
Partículas con dos o más caras fracturadas	86.1 %


 Rivaldo Aguirre Jilites Henz
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 19 Partículas chatas y alargadas en el agregado grueso



FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO
 ESCUELA PROFESIONAL INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

Proyecto / Obra : TESIS: "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"
 Solicitante : TESISTA JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO.
 Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
 Fecha de recepción : Pimentel, 24 de enero del 2020.
 Fecha de pago : Pimentel, 24 de enero del 2020 (F001 - 0001185).
 Fecha de Emisión : Pimentel, 24 de enero del 2020.

ENSAYO : PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS
 REFERENCIA : N.T.P. 400.040

Muestra : Piedra Chancada

Cantera : La Victoria - Pátapo

MATERIAL			CHATAS		ALARGADAS	
Tamiz (Pulg)	Abertura (mm)	Retenido (%)	(%)	(%) Corregido	(%)	(%) Corregido
3"	76.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2"	50.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1 1/2"	38.10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	25.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	19.05	8.6	7.3	0.6	0.0	0.0
1/2"	12.70	71.8	3.4	2.4	1.1	0.8
3/8"	8.75	19.6	8.2	1.6	2.5	0.5
			% Chatas :	4.7	% Alargadas :	1.3

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	(%)	5.91
-------------------------------	-----	------

Observaciones:

- Relación usada: 1/3 (Espesor /Longitud).
- Muestreo, identificación y ensayo realizado por el Solicitante (Muestra Ingresada 13 de enero 2020).
- Fecha de Ensayo 14 de enero 2020.

USS UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.

TCO. WILSON A. OLAYA AGUILAR
 LABORATORISTA L.E.M. - USS.

USS UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN S.A.C.

MSc. Sócrates Pedro Muñoz Pérez
 JEFE L.E.M. - USS.

Anexo 20 Índice de forma y textura del agregado grueso



A & M GEOTÉCNICA Y MECÁNICA DE SUELOS S.A.C.
 ENSAYOS DE SUELOS - CONCRETO - ASFALTO - PAVIMENTOS - CIMENTACIONES
 Av. Chiclayo Mz. 3 Lt. 62 - S. Cantoral Chiclayo, Telf. 074-237420 - Cel. 979644184 - RPM.#979644184

INDICE DE FORMA Y DE TEXTURA DE AGREGADOS NORMA MTC E 208 - ASTM D - 3398

SOLICITA : TESISTA JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO
 TESIS : "DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
 FECHA : 13/01/2020
 CANTERA : LA VICTORIA - DISTRITO DE PATAPO
 MUESTRA : PIEDRA CHANCADA 3/4"

Tamaño Partículas		W ₁₀ Peso prom. 10 golpes	W ₅₀ Peso prom. 50 golpes	V Molde vol (cm ³)	S P. E Aparante	A Gradación %	B Índice Id	Índice Ponderado
3/4"	1/2"	4525	4932	3030	2.642	36.9	12.7	4.70
1/2"	3/8"	4520	4963	3030	2.647	29.2	13.0	3.80
3/8"	N°4	4671	5080	3030	2.649	23.1	11.1	2.56
N°4	N°8	4738	5178	3030	2.655	10.8	10.5	1.13
						100		12.20

$$V_{50} = \left[1 - \left(\frac{W_{10}}{S \cdot V} \right) \right] * 100$$

$$V_{50} = \left[1 - \left(\frac{W_{50}}{S \cdot V} \right) \right] * 100$$

V₁₀ Vacíos agregados compactados 10 golpes
 V₅₀ Vacíos agregados compactados 50 golpes
 W₁₀ Peso agregado g.
 W₅₀ Peso agregado g.
 V Volumen del molde cm³
 S Peso específico aparente sup. Seca

Id = Índice para cada partícula de fracción

$$Id = 1.25 \cdot V_{10} - 0.25 \cdot V_{50} - 32$$

A & M GEOTÉCNICA Y MECÁNICA DE SUELOS S.A.C.

Mario Ortiz Puelles
 TÉCNICO LABORATORIO

A & M GEOTÉCNICA Y MECÁNICA DE SUELOS S.A.C.

Juan Luis Martínez
 INGENIERO CIVIL
 REG. CIP. 112332

Anexo 21 Temperatura del concreto permeable en estado fresco



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 24 DE ABRIL DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE MEZCLAS DE CONCRETO

REFERENCIA : NORMA ASTM C 1064 ó N.T.P. 339.184

Muestra Nº	IDENTIFICACIÓN	Temp. (°C)
MP-1	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	24.8
MP-2	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	24.0
MP-3	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	24.1
MP-4	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	23.9
MP-5	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	23.9
MP-6	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	24.0
MP-7	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	24.6
MP-8	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	24.0


 RIVERA JACINTO JORGE ERNESTO
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 3 DE MAYO DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA DETERMINAR LA TEMPERATURA DE MEZCLAS DE CONCRETO

REFERENCIA : NORMA ASTM C 1064 ó N.T.P. 339.184

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Temp(°C)
M-1	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	24.0
M-2	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	24.1
M-3	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	23.9
M-4	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	24.5
M-5	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	24.3
M-6	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	24.8
M-7	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	23.8
M-8	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	24.1
M-9	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	24.0
M-10	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	23.9
M-11	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	24.0
M-12	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	24.0
M-13	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	23.8
M-14	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	23.9
M-15	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	24.1


 RIV. de negro Jblitas dentro
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 22: Asentamiento del concreto permeable en estado fresco



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 24 DE ABRIL DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS

REFERENCIA : NORMA ASTM C 143 ó N.T.P. 339.035

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Fecha de ensayo	Slump (cm)
MP-1	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	24/04/2019	1.0
MP-2	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	24/04/2019	1.2
MP-3	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	24/04/2019	1.2
MP-4	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	24/04/2019	1.5
MP-5	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	24/04/2019	0.0
MP-6	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	24/04/2019	0.0
MP-7	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	24/04/2019	0.0
MP-8	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	24/04/2019	1.0


 RIVADENEYRA Oblitas Denis
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO


TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

ENSAYO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO PARA LA MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO DEL CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS

REFERENCIA : NORMA ASTM C 143 ó N.T.P. 339.035

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	Fecha de ensayo	Slump (cm)
M-1	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	03/05/2019	0.0
M-2	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	03/05/2019	0.0
M-3	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	03/05/2019	0.0
M-4	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	03/05/2019	0.0
M-5	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	03/05/2019	0.0
M-6	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	03/05/2019	0.0
M-7	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	03/05/2019	1.0
M-8	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	03/05/2019	1.0
M-9	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	06/05/2019	1.2
M-10	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	06/05/2019	1.0
M-11	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	06/05/2019	1.3
M-12	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	06/05/2019	1.4
M-13	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	06/05/2019	1.5
M-14	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	06/05/2019	1.5
M-15	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	06/05/2019	2.0


 RIVERO JBLITAS DENY
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 23: Densidad y contenido de vacíos del concreto permeable en estado fresco



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FEHA DEL ENSAYO : 2 DE SETIEMBRE DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO: Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacíos del concreto permeable fresco.

REFERENCIA : NORMA NTP 339.230 / ASTM C-1688/C1688M

Descripción	M-10		M-11		M-12	
Masa del recipiente lleno con concreto (Mc)	16.735 kg	16.756 kg	16.894 kg	16.932 kg	16.873 kg	16.951 kg
Masa del recipiente de medida (Mm)	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg
Volumen del recipiente de medida (Vm)	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³
Peso Unitario del concreto	1903 kg/m ³	1906 kg/m ³	1926 kg/m ³	1931 kg/m ³	1923 kg/m ³	1934 kg/m ³
Peso Unitario promedio del concreto (D)	1905 kg/m³		1929 kg/m³		1929 kg/m³	
Desviación Estándar de la Densidad	2.1 kg/m ³		3.8 kg/m ³		7.9 kg/m ³	
Masa total de los materiales (Ms)	1914.79 kg	1914.79 kg	1944.72 kg	1944.72 kg	1948.30 kg	1948.30 kg
Volúmenes absolutos de los materiales (Vs)	0.738 m ³	0.738 m ³	0.747 m ³	0.747 m ³	0.746 m ³	0.746 m ³
Peso Unitario Teórico del concreto (T)	2594 kg/m ³	2594 kg/m ³	2604 kg/m ³	2604 kg/m ³	2612 kg/m ³	2612 kg/m ³
Porcentaje de Vacíos del concreto (U)	26.63 %	26.51 %	26.04 %	25.83 %	26.37 %	25.94 %
Porcentaje de Vacíos promedio del concreto (U)	26.57 %		25.93 %		26.16 %	
Desviación Estándar de los Vacíos	0.08 %		0.15 %		0.30 %	

Descripción	M-13		M-14		M-15	
Masa del recipiente lleno con concreto (Mc)	16.985 kg	17.032 kg	16.963 kg	17.041 kg	17.216 kg	17.201 kg
Masa del recipiente de medida (Mm)	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg
Volumen del recipiente de medida (Vm)	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³
Peso Unitario del concreto	1939 kg/m ³	1946 kg/m ³	1936 kg/m ³	1947 kg/m ³	1972 kg/m ³	1970 kg/m ³
Peso Unitario promedio del concreto (D)	1942 kg/m³		1941 kg/m³		1971 kg/m³	
Desviación Estándar de la Densidad	4.7 kg/m ³		7.9 kg/m ³		1.5 kg/m ³	
Masa total de los materiales (Ms)	1968.01 kg	1968.01 kg	1965.43 kg	1965.43 kg	1989.88 kg	1989.88 kg
Volúmenes absolutos de los materiales (Vs)	0.761 m ³	0.761 m ³	0.758 m ³	0.758 m ³	0.764 m ³	0.764 m ³
Peso Unitario Teórico del concreto (T)	2587 kg/m ³	2587 kg/m ³	2594 kg/m ³	2594 kg/m ³	2603 kg/m ³	2603 kg/m ³
Porcentaje de Vacíos del concreto (U)	25.04 %	24.78 %	25.36 %	24.93 %	24.25 %	24.33 %
Porcentaje de Vacíos promedio del concreto (U)	24.91 %		25.15 %		24.29 %	
Desviación Estándar de los Vacíos	0.18 %		0.30 %		0.06 %	

Observación: El ensayo se realizó utilizando el Procedimiento A de consolidación descrito en la norma NTP 339.230.


 RIVERA J. J. J.
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FEHA DEL ENSAYO : 2 DE SETIEMBRE DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO: Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacíos del concreto permeable fresco.

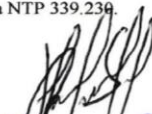
REFERENCIA : NORMA NTP 339.230 / ASTM C-1688/C1688M

Descripción	M-1		M-2		M-3	
Masa del recipiente lleno con concreto (Mc)	15.595 kg	15.584 kg	15.601 kg	15.716 kg	15.639 kg	15.694 kg
Masa del recipiente de medida (Mm)	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg
Volumen del recipiente de medida (Vm)	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³
Peso Unitario del concreto	1741 kg/m ³	1739 kg/m ³	1742 kg/m ³	1758 kg/m ³	1747 kg/m ³	1755 kg/m ³
Peso Unitario promedio del concreto (D)	1740 kg/m³		1750 kg/m³		1751 kg/m³	
Desviación Estándar de la Densidad	1.1 kg/m ³		11.6 kg/m ³		5.5 kg/m ³	
Masa total de los materiales (Ms)	1771.09 kg	1771.09 kg	1765.64 kg	1765.64 kg	1765.59 kg	1765.59 kg
Volúmenes absolutos de los materiales (Vs)	0.677 m ³	0.677 m ³	0.673 m ³	0.673 m ³	0.671 m ³	0.671 m ³
Peso Unitario Teórico del concreto (T)	2618 kg/m ³	2618 kg/m ³	2625 kg/m ³	2625 kg/m ³	2632 kg/m ³	2632 kg/m ³
Porcentaje de Vacíos del concreto (U)	33.49 %	33.55 %	33.64 %	33.01 %	33.62 %	33.33 %
Porcentaje de Vacíos promedio del concreto (U)	33.52 %		33.32 %		33.47 %	
Desviación Estándar de los Vacíos	0.04 %		0.44 %		0.21 %	

Descripción	M-4		M-5		M-6	
Masa del recipiente lleno con concreto (Mc)	15.696 kg	15.739 kg	15.780 kg	15.831 kg	15.901 kg	15.983 kg
Masa del recipiente de medida (Mm)	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg
Volumen del recipiente de medida (Vm)	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³
Peso Unitario del concreto	1755 kg/m ³	1761 kg/m ³	1767 kg/m ³	1775 kg/m ³	1785 kg/m ³	1796 kg/m ³
Peso Unitario promedio del concreto (D)	1758 kg/m³		1771 kg/m³		1790 kg/m³	
Desviación Estándar de la Densidad	4.3 kg/m ³		5.1 kg/m ³		8.3 kg/m ³	
Masa total de los materiales (Ms)	1772.02 kg	1772.02 kg	1783.34 kg	1783.34 kg	1797.73 kg	1797.73 kg
Volúmenes absolutos de los materiales (Vs)	0.680 m ³	0.680 m ³	0.682 m ³	0.682 m ³	0.685 m ³	0.685 m ³
Peso Unitario Teórico del concreto (T)	2605 kg/m ³	2605 kg/m ³	2614 kg/m ³	2614 kg/m ³	2623 kg/m ³	2623 kg/m ³
Porcentaje de Vacíos del concreto (U)	32.61 %	32.38 %	32.38 %	32.10 %	31.96 %	31.51 %
Porcentaje de Vacíos promedio del concreto (U)	32.49 %		32.24 %		31.74 %	
Desviación Estándar de los Vacíos	0.17 %		0.20 %		0.31 %	

Descripción	M-7		M-8		M-9	
Masa del recipiente lleno con concreto (Mc)	16.045 kg	16.091 kg	16.131 kg	16.175 kg	16.618 kg	16.703 kg
Masa del recipiente de medida (Mm)	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg
Volumen del recipiente de medida (Vm)	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³
Peso Unitario del concreto	1805 kg/m ³	1812 kg/m ³	1817 kg/m ³	1824 kg/m ³	1887 kg/m ³	1899 kg/m ³
Peso Unitario promedio del concreto (D)	1808 kg/m³		1820 kg/m³		1893 kg/m³	
Desviación Estándar de la Densidad	4.6 kg/m ³		4.4 kg/m ³		8.6 kg/m ³	
Masa total de los materiales (Ms)	1831.13 kg	1831.13 kg	1821.46 kg	1821.46 kg	1911.16 kg	1911.16 kg
Volúmenes absolutos de los materiales (Vs)	0.7047 m ³	0.7047 m ³	0.6992 m ³	0.6992 m ³	0.7292 m ³	0.7292 m ³
Peso Unitario Teórico del concreto (T)	2598 kg/m ³	2598 kg/m ³	2605 kg/m ³	2605 kg/m ³	2621 kg/m ³	2621 kg/m ³
Porcentaje de Vacíos del concreto (U)	30.53 %	30.28 %	30.24 %	29.99 %	28.01 %	27.55 %
Porcentaje de Vacíos promedio del concreto (U)	30.40 %		30.11 %		27.78 %	
Desviación Estándar de los Vacíos	0.18 %		0.17 %		0.33 %	

Observación: El ensayo se realizó utilizando el Procedimiento A de consolidación descrito en la norma NTP 339.230.


 Rivalmeyra Oblitas
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FEHA DEL ENSAYO : 2 DE SETIEMBRE DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO: Método de ensayo normalizado para determinar la densidad y el contenido de vacíos del concreto permeable fresco.


REFERENCIA : NORMA NTP 339.230 / ASTM C-1688/C1688M

Descripción	MP-1		MP-2		MP-3	
Masa del recipiente lleno con concreto (Mc)	16.328 kg	16.301 kg	16.450 kg	16.498 kg	16.650 kg	16.714 kg
Masa del recipiente de medida (Mm)	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg
Volumen del recipiente de medida (Vm)	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³
Peso Unitario del concreto	1845 kg/m ³	1842 kg/m ³	1863 kg/m ³	1870 kg/m ³	1891 kg/m ³	1900 kg/m ³
Peso Unitario promedio del concreto (D)	1843 kg/m³		1866 kg/m³		1896 kg/m³	
Desviación Estándar de la Densidad	2.7 kg/m ³		4.8 kg/m ³		6.4 kg/m ³	
Masa total de los materiales (Ms)	1872.06 kg	1872.06 kg	1894.14 kg	1894.14 kg	1926.01 kg	1926.01 kg
Volumenes absolutos de los materiales (Vs)	0.7150 m ³	0.7150 m ³	0.7210 m ³	0.7210 m ³	0.7410 m ³	0.7410 m ³
Peso Unitario Teórico del concreto (T)	2618 kg/m ³	2618 kg/m ³	2627 kg/m ³	2627 kg/m ³	2599 kg/m ³	2599 kg/m ³
Porcentaje de Vacíos del concreto (U)	29.52 %	29.67 %	29.09 %	28.83 %	27.24 %	26.89 %
Porcentaje de Vacíos promedio del concreto (U)	29.59 %		28.96 %		27.06 %	
Desviación Estándar de los Vacíos	0.10 %		0.18 %		0.25 %	

Descripción	MP-4		MP-5		MP-6	
Masa del recipiente lleno con concreto (Mc)	16.883 kg	16.873 kg	15.816 kg	15.899 kg	16.109 kg	16.202 kg
Masa del recipiente de medida (Mm)	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg
Volumen del recipiente de medida (Vm)	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³
Peso Unitario del concreto	1924 kg/m ³	1923 kg/m ³	1772 kg/m ³	1784 kg/m ³	1814 kg/m ³	1827 kg/m ³
Peso Unitario promedio del concreto (D)	1924 kg/m³		1778 kg/m³		1821 kg/m³	
Desviación Estándar de la Densidad	1.0 kg/m ³		8.4 kg/m ³		9.4 kg/m ³	
Masa total de los materiales (Ms)	1954.83 kg	1954.83 kg	1807.02 kg	1807.02 kg	1848.59 kg	1848.59 kg
Volumenes absolutos de los materiales (Vs)	0.7490 m ³	0.7490 m ³	0.6830 m ³	0.6830 m ³	0.6960 m ³	0.6960 m ³
Peso Unitario Teórico del concreto (T)	2610 kg/m ³	2610 kg/m ³	2646 kg/m ³	2646 kg/m ³	2656 kg/m ³	2656 kg/m ³
Porcentaje de Vacíos del concreto (U)	26.26 %	26.32 %	33.01 %	32.56 %	31.70 %	31.20 %
Porcentaje de Vacíos promedio del concreto (U)	26.29 %		32.78 %		31.45 %	
Desviación Estándar de los Vacíos	0.04 %		0.32 %		0.35 %	

Descripción	MP-7		MP-8	
Masa del recipiente lleno con concreto (Mc)	16.164 kg	16.201 kg	16.211 kg	16.327 kg
Masa del recipiente de medida (Mm)	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg	3.376 kg
Volumen del recipiente de medida (Vm)	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³	0.0070 m ³
Peso Unitario del concreto	1822 kg/m ³	1827 kg/m ³	1829 kg/m ³	1845 kg/m ³
Peso Unitario promedio del concreto (D)	1825 kg/m³		1837 kg/m³	
Desviación Estándar de la Densidad	3.7 kg/m ³		11.7 kg/m ³	
Masa total de los materiales (Ms)	1852.31 kg	1852.31 kg	1866.66 kg	1866.66 kg
Volumenes absolutos de los materiales (Vs)	0.7050 m ³	0.7050 m ³	0.7080 m ³	0.7080 m ³
Peso Unitario Teórico del concreto (T)	2627 kg/m ³	2627 kg/m ³	2637 kg/m ³	2637 kg/m ³
Porcentaje de Vacíos del concreto (U)	30.65 %	30.45 %	30.64 %	30.01 %
Porcentaje de Vacíos promedio del concreto (U)	30.55 %		30.33 %	
Desviación Estándar de los Vacíos	0.14 %		0.44 %	

Observación: El ensayo se realizó utilizando el Procedimiento A de consolidación descrito en la norma NTP 339.230.


 RIVERA VEYTA JBLITAS JENY
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 24: Contenido de vacíos por el método de presión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 24 DE ABRIL DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA CONTENIDO DEL AIRE DE MEZCLA DE CONCRETO FRESCO, POR EL MÉTODO DE PRESIÓN

REFERENCIA : NORMA ASTM C 173 ó N.T.P. 339.083

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	% Vacíos
MP-1	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	25.0 %
MP-2	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	24.0 %
MP-3	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	25.0 %
MP-4	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	23.0 %
MP-5	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 250 mL x saco	29.0 %
MP-6	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.27 y Adit.= 500 mL x saco	28.5 %
MP-7	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 250 mL x saco	28.0 %
MP-8	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.33 y Adit.= 500 mL x saco	28.0 %


 RIVERO GREGORIO OBLITAS DENIS
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 3 DE MAYO DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA CONTENIDO DEL AIRE DE MEZCLA DE CONCRETO FRESCO, POR EL MÉTODO DE PRESIÓN

REFERENCIA : NORMA ASTM C 173 6 N.T.P. 339.083

Muestra N°	IDENTIFICACIÓN	% Vacíos
M-1	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	31.0 %
M-2	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	31.0 %
M-3	Arena/agregado global=0%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	30.0 %
M-4	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	29.0 %
M-5	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	28.5 %
M-6	Arena/agregado global=5%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	28.0 %
M-7	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	27.0 %
M-8	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	27.0 %
M-9	Arena/agregado global=10%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	25.0 %
M-10	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	24.0 %
M-11	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	23.0 %
M-12	Arena/agregado global=15%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	22.5 %
M-13	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 0 mL x saco	22.0 %
M-14	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 250 mL x saco	22.0 %
M-15	Arena/agregado global=20%; agua/cemento=0.30 y Adit.= 500 mL x saco	20.0 %


 RIVERA MEYRA JOLITAS DENIS
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 25: Densidad y contenido de vacíos en estado endurecido



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 13 DE SETIEMBRE DEL 2019

FECHA DE EMISIÓN : 13 DE SETIEMBRE DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y CONTENIDO DE VACÍOS DEL CONCRETO PERMEABLE ENDURECIDO

REFERENCIA : NORMA ASTM C1754 o N.T.P.339.238

Muestra Nº	Código	D (mm)	L (mm)	A (g)	Densidad (kg/m ³)	Dprom (kg/m ³)	Coef. de variación (%)	Dw (kg/m ³)	B (g)	V (%)	Vprom (%)	Coef. de variación (%)	Método Secado	Edad (Días)
M-1	Testigo 1	102.30	204.62	2892	1720	1728	0.7	997.4	1794.2	34.6	34.8	0.9	Tipo B	28
	Testigo 2	101.96	204.80	2904	1737			997.4	1820.1	35.0			Tipo B	28
M-2	Testigo 1	101.34	204.60	2868	1738	1726	1.0	997.4	1781.3	34.0	34.3	1.2	Tipo B	28
	Testigo 2	102.40	202.58	2859	1714			997.4	1770.2	34.6			Tipo B	28
M-3	Testigo 1	101.56	202.78	2852	1736	1737	0.1	997.4	1769.0	33.9	34.0	0.4	Tipo B	28
	Testigo 2	101.44	201.60	2831	1738			997.4	1760.2	34.1			Tipo B	28
M-4	Testigo 1	102.20	203.00	2881	1730	1725	0.4	997.4	1770.1	33.1	33.3	0.9	Tipo B	28
	Testigo 2	102.14	203.72	2872	1721			997.4	1765.6	33.5			Tipo B	28
M-5	Testigo 1	102.24	203.02	2921	1753	1762	0.7	997.4	1795.1	32.3	32.3	0.3	Tipo B	28
	Testigo 2	102.24	203.32	2956	1771			997.4	1830.9	32.4			Tipo B	28
M-6	Testigo 1	102.14	204.24	2979	1780	1767	1.1	997.4	1840.1	31.8	32.2	1.8	Tipo B	28
	Testigo 2	102.36	204.12	2946	1754			997.4	1816.4	32.6			Tipo B	28
M-7	Testigo 1	101.80	203.44	2967	1792	1794	0.2	997.4	1830.7	31.2	31.7	2.0	Tipo B	28
	Testigo 2	101.88	204.36	2994	1797			997.4	1865.9	32.1			Tipo B	28
M-8	Testigo 1	101.84	203.78	3008	1812	1810	0.1	997.4	1865.0	31.0	30.3	3.1	Tipo B	28
	Testigo 2	102.20	203.90	3025	1808			997.4	1851.2	29.6			Tipo B	28

Nota: D: Diámetro promedio del espécimen V: Vacíos del espécimen
 L: Longitud promedio del espécimen Vprom: Vacíos promedio
 A: Masa seca del espécimen
 Dprom: Densidad promedio
 Dw: Densidad del agua
 B: Masa sumergida del espécimen


 RIVERA JBLITAS DENIS
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 13 DE SETIEMBRE DEL 2019

FECHA DE EMISIÓN : 13 DE SETIEMBRE DEL 2019

ENSAYO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y CONTENIDO DE VACÍOS DEL CONCRETO PERMEABLE ENDURECIDO

REFERENCIA : NORMA ASTM C1754 o N.T.P.339.238

Muestra Nº	Código	D (mm)	L (mm)	A (g)	Densidad (kg/m ³)	Dprom (kg/m ³)	Coef. de variación (%)	Dw (kg/m ³)	B (g)	V (%)	Vprom (%)	Coef. de variación (%)	Método Secado	Edad (Días)
M-9	Testigo 1	102.13	203.12	3104	1865	1869	0.3	997.4	1901.3	27.5	28.0	2.5	Tipo B	28
	Testigo 2	102.26	202.98	3121	1872			997.4	1932.4	28.5			Tipo B	28
M-10	Testigo 1	102.98	203.78	3208	1890	1892	0.1	997.4	1952.7	25.8	26.3	2.6	Tipo B	28
	Testigo 2	101.84	203.84	3144	1894			997.4	1932.1	26.8			Tipo B	28
M-11	Testigo 1	101.20	204.02	3130	1907	1909	0.2	997.4	1919.7	26.1	26.1	0.3	Tipo B	28
	Testigo 2	102.02	204.22	3191	1911			997.4	1961.5	26.2			Tipo B	28
M-12	Testigo 1	101.26	203.36	3169	1935	1928	0.5	997.4	1957.2	25.8	25.6	1.1	Tipo B	28
	Testigo 2	101.24	203.72	3151	1921			997.4	1931.1	25.4			Tipo B	28
M-13	Testigo 1	101.32	202.94	3188	1948	1934	1.1	997.4	1969.6	25.3	25.8	2.3	Tipo B	28
	Testigo 2	102.16	203.56	3203	1920			997.4	1974.5	26.2			Tipo B	28
M-14	Testigo 1	101.15	204.44	3181	1936	1929	0.5	997.4	1980.1	26.7	26.3	2.4	Tipo B	28
	Testigo 2	102.28	203.40	3211	1921			997.4	1974.8	25.8			Tipo B	28
M-15	Testigo 1	102.34	203.16	3276	1960	1956	0.3	997.4	2019.7	24.6	24.8	1.1	Tipo B	28
	Testigo 2	101.88	203.74	3241	1951			997.4	1999.1	25.0			Tipo B	28

Nota: D: Diámetro promedio del espécimen V: Vacíos del espécimen
L: Longitud promedio del espécimen Vprom: Vacíos promedio
A: Masa seca del espécimen
Dprom: Densidad promedio
Dw: Densidad del agua
B: Masa sumergida del espécimen


Rivadeneira Oblitas Denis
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 26: Resistencia a la compresión del concreto permeable



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

CÓDIGO : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS

Muestra N°	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Antigüedad del Espécimen	Coef. de variación (%)
MP-1	15	11121.5	62.9	65.7	24/04/2019	01/05/2019	7	6.0
	15	12109.4	68.5		24/04/2019	01/05/2019	7	
MP-2	15	12789.1	72.4	71.4	24/04/2019	01/05/2019	7	1.8
	15	12459.3	70.5		24/04/2019	01/05/2019	7	
MP-3	15	13303.6	75.3	76.6	24/04/2019	01/05/2019	7	2.5
	15	13780.0	78.0		24/04/2019	01/05/2019	7	
MP-4	15	14420.6	81.6	83.2	24/04/2019	01/05/2019	7	2.8
	15	14998.5	84.9		24/04/2019	01/05/2019	7	
MP-5	15	7000.0	39.6	42.7	24/04/2019	01/05/2019	7	10.2
	15	8090.0	45.8		24/04/2019	01/05/2019	7	
MP-6	15	8230.6	46.6	46.3	24/04/2019	01/05/2019	7	0.8
	15	8135.6	46.0		24/04/2019	01/05/2019	7	
MP-7	15	8190.0	46.3	47.6	24/04/2019	01/05/2019	7	3.7
	15	8630.0	48.8		24/04/2019	01/05/2019	7	
MP-8	15	9055.6	51.2	52.7	24/04/2019	01/05/2019	7	3.8
	15	9554.9	54.1		24/04/2019	01/05/2019	7	


 RIVUDEYRA Obiitas JENY
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

CÓDIGO : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS

Muestra N°	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Antigüedad del Espécimen	Coef. de variación (%)
M-1	15	9260.0	52.4	55.5	03/05/2019	10/05/2019	7	7.9
	15	10350.0	58.6		03/05/2019	10/05/2019	7	
M-2	15	11712.0	66.3	66.8	03/05/2019	10/05/2019	7	1.1
	15	11895.5	67.3		03/05/2019	10/05/2019	7	
M-3	15	10141.8	57.4	59.3	03/05/2019	10/05/2019	7	4.6
	15	10821.8	61.2		03/05/2019	10/05/2019	7	
M-4	15	11533.7	65.3	65.4	03/05/2019	10/05/2019	7	0.4
	15	11594.3	65.6		03/05/2019	10/05/2019	7	
M-5	15	12119.1	68.6	71.2	03/05/2019	10/05/2019	7	5.1
	15	13030.9	73.7		03/05/2019	10/05/2019	7	
M-6	15	13266.7	75.1	75.1	03/05/2019	10/05/2019	7	0.1
	15	13278.7	75.1		03/05/2019	10/05/2019	7	
M-7	15	13610.2	77.0	78.1	03/05/2019	10/05/2019	7	1.9
	15	13989.0	79.2		03/05/2019	10/05/2019	7	
M-8	15	14101.0	79.8	81.1	03/05/2019	10/05/2019	7	2.3
	15	14566.0	82.4		03/05/2019	10/05/2019	7	

Ricardo J. J. J. J.
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

CÓDIGO : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS

Muestra N°	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f'c (kg/cm2)	f'c prom. (kg/cm2)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Antigüedad del Espécimen	Coef. de variación (%)
M-9	15	15189.8	86.0	86.9	06/05/2019	13/05/2019	7	1.5
	15	15521.3	87.8		06/05/2019	13/05/2019	7	
M-10	15	15896.3	90.0	88.6	06/05/2019	13/05/2019	7	2.1
	15	15432.8	87.3		06/05/2019	13/05/2019	7	
M-11	15	16385.9	92.7	95.9	06/05/2019	13/05/2019	7	4.7
	15	17503.2	99.0		06/05/2019	13/05/2019	7	
M-12	15	17829.6	100.9	100.3	06/05/2019	13/05/2019	7	0.9
	15	17606.1	99.6		06/05/2019	13/05/2019	7	
M-13	15	18174.1	102.8	102.6	06/05/2019	13/05/2019	7	0.3
	15	18104.3	102.4		06/05/2019	13/05/2019	7	
M-14	15	21173.7	119.8	122.3	06/05/2019	13/05/2019	7	2.9
	15	22063.9	124.9		06/05/2019	13/05/2019	7	
M-15	15	25958.2	146.9	144.8	06/05/2019	13/05/2019	7	2.0
	15	25227.6	142.8		06/05/2019	13/05/2019	7	


 Rivaldeyra Oblitas Ferrero
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

CÓDIGO : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS

Muestra N°	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f'c (kg/cm ²)	f'c prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Antigüedad del Espécimen	Coef. de variación (%)
M-1	15	11010.0	62.3	64.9	03/05/2019	17/05/2019	14	5.7
	15	11930.0	67.5		03/05/2019	17/05/2019	14	
M-2	15	13360.0	75.6	76.8	03/05/2019	17/05/2019	14	2.2
	15	13788.0	78.0		03/05/2019	17/05/2019	14	
M-3	15	13860.0	78.4	80.2	03/05/2019	17/05/2019	14	3.2
	15	14500.0	82.1		03/05/2019	17/05/2019	14	
M-4	15	14921.0	84.4	84.1	03/05/2019	17/05/2019	14	0.5
	15	14817.0	83.8		03/05/2019	17/05/2019	14	
M-5	15	15020.0	85.0	86.7	03/05/2019	17/05/2019	14	2.8
	15	15630.0	88.4		03/05/2019	17/05/2019	14	
M-6	15	16210.0	91.7	92.1	03/05/2019	17/05/2019	14	0.6
	15	16355.0	92.6		03/05/2019	17/05/2019	14	
M-7	15	17360.0	98.2	99.6	03/05/2019	17/05/2019	14	1.9
	15	17840.0	101.0		03/05/2019	17/05/2019	14	
M-8	15	17650.0	99.9	100.8	03/05/2019	17/05/2019	14	1.3
	15	17982.0	101.8		03/05/2019	17/05/2019	14	


 Rivaldo Jorge Oblitas Henrí
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

CÓDIGO : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS

Muestra N°	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Antigüedad del Espécimen	Coef. de variación (%)
M-9	15	18378.0	104.0	104.5	06/05/2019	20/05/2019	14	0.6
	15	18546.0	104.9		06/05/2019	20/05/2019	14	
M-10	15	19160.0	108.4	109.6	06/05/2019	20/05/2019	14	1.5
	15	19564.0	110.7		06/05/2019	20/05/2019	14	
M-11	15	20434.0	115.6	119.9	06/05/2019	20/05/2019	14	5.0
	15	21944.0	124.2		06/05/2019	20/05/2019	14	
M-12	15	21690.0	122.7	123.0	06/05/2019	20/05/2019	14	0.3
	15	21783.0	123.3		06/05/2019	20/05/2019	14	
M-13	15	22064.0	124.9	126.2	06/05/2019	20/05/2019	14	1.5
	15	22546.0	127.6		06/05/2019	20/05/2019	14	
M-14	15	25000.0	141.5	146.8	06/05/2019	20/05/2019	14	5.1
	15	26880.0	152.1		06/05/2019	20/05/2019	14	
M-15	15	32800.0	185.6	183.9	06/05/2019	20/05/2019	14	1.3
	15	32199.0	182.2		06/05/2019	20/05/2019	14	


 Rivaldo J. Oblitas Henríquez
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 TESIS : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

CÓDIGO : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS

Muestra N°	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Antigüedad del Espécimen	Coef. de variación (%)
M-1	15	14308.0	81.0	82.0	03/05/2019	31/05/2019	28	1.8
	15	14687.0	83.1		03/05/2019	31/05/2019	28	
M-2	15	17203.0	97.3	99.6	03/05/2019	31/05/2019	28	3.2
	15	17989.0	101.8		03/05/2019	31/05/2019	28	
M-3	15	16711.0	94.6	92.8	03/05/2019	31/05/2019	28	2.6
	15	16101.0	91.1		03/05/2019	31/05/2019	28	
M-4	15	18150.0	102.7	101.9	03/05/2019	31/05/2019	28	1.1
	15	17880.0	101.2		03/05/2019	31/05/2019	28	
M-5	15	19184.0	108.6	113.6	03/05/2019	31/05/2019	28	6.2
	15	20955.0	118.6		03/05/2019	31/05/2019	28	
M-6	15	20689.0	117.1	117.8	03/05/2019	31/05/2019	28	0.8
	15	20933.0	118.5		03/05/2019	31/05/2019	28	
M-7	15	21466.0	121.5	122.5	03/05/2019	31/05/2019	28	1.2
	15	21835.0	123.6		03/05/2019	31/05/2019	28	
M-8	15	21738.0	123.0	123.7	03/05/2019	31/05/2019	28	0.8
	15	21981.0	124.4		03/05/2019	31/05/2019	28	


 RIVERA JOLITAS DENI
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

CÓDIGO : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO EN MUESTRAS CILÍNDRICAS

Muestra N°	Diámetro (d) (cm)	Carga (P) (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Antigüedad del Espécimen	Coef. de variación (%)
M-9	15	22320.0	126.3	128.8	06/05/2019	03/06/2019	28	2.8
	15	23210.0	131.3		06/05/2019	03/06/2019	28	
M-10	15	24455.0	138.4	139.0	06/05/2019	03/06/2019	28	0.7
	15	24689.0	139.7		06/05/2019	03/06/2019	28	
M-11	15	25685.0	145.3	143.7	06/05/2019	03/06/2019	28	1.6
	15	25109.0	142.1		06/05/2019	03/06/2019	28	
M-12	15	27430.0	155.2	154.0	06/05/2019	03/06/2019	28	1.1
	15	26989.0	152.7		06/05/2019	03/06/2019	28	
M-13	15	32800.0	185.6	189.2	06/05/2019	03/06/2019	28	2.7
	15	34070.0	192.8		06/05/2019	03/06/2019	28	
M-14	15	33690.0	190.6	190.5	06/05/2019	03/06/2019	28	0.1
	15	33640.0	190.4		06/05/2019	03/06/2019	28	
M-15	15	37220.0	210.6	213.7	06/05/2019	03/06/2019	28	2.0
	15	38310.0	216.8		06/05/2019	03/06/2019	28	


 Ripollmeyra Jblitas Denis
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 27: Ensayo de resistencia a la flexión del concreto permeable



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 TESIS : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO
 TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
 FECHA DE ENSAYO : 17 DE MAYO DEL 2019
 CÓDIGO : N.T.P. 339.078 - 2012 / ASTM C-78/78M - 10
 TÍTULO : CONCRETO.METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA A LOS TERCIOS DEL TRAMO

Muestra N°	Base (b) (cm)	Altura (h) (cm)	Luz libre (L) (cm)	Carga (P) (kg)	MR (kg/cm ²)	MR prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Ubicación de la falla	Antigüedad del Espécimen	Coef. de Variación (%)	Variación (%)
M-1	15	15	45	577.9	7.7	7.7	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	0.5	0.8
	15	15	45	582.3	7.8		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-2	15	15	45	610.3	8.1	8.0	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	2.2	3.1
	15	15	45	591.4	7.9		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-3	15	15	45	696.9	9.3	9.4	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	1.4	1.9
	15	15	45	710.6	9.5		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-4	15	15	45	708.5	9.4	9.5	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	1.3	1.8
	15	15	45	721.6	9.6		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-5	15	15	45	962.5	12.8	12.8	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	0.2	0.3
	15	15	45	959.3	12.8		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-6	15	15	45	975	13.0	13.1	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	1.0	1.3
	15	15	45	988.2	13.2		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-7	15	15	45	1001.5	13.4	13.5	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	1.4	1.9
	15	15	45	1021.1	13.6		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-8	15	15	45	992.4	13.2	14.0	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	7.3	9.8
	15	15	45	1100.3	14.7		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		

Rivudenejo Jolitas Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
 FECHA DE ENSAYO : 17 DE MAYO DEL 2019
 CÓDIGO : N.T.P. 339.078 - 2012 / ASTM C-78/78M - 10
 TÍTULO : CONCRETO.MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA A LOS TERCIOS DEL TRAMO

Muestra N°	Base (b) (cm)	Altura (h) (cm)	Luz libre (L) (cm)	Carga (P) (kg)	MR (kg/cm ²)	MR prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Ubicación de la falla	Antigüedad del Especimen	Coef. de Variación (%)	Variación (%)
M-9	15	15	45	1024.1	13.7	13.9	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	2.8	3.9
	15	15	45	1065.7	14.2		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-10	15	15	45	1044.8	13.9	14.0	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	1.1	1.5
	15	15	45	1061.2	14.1		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-11	15	15	45	1104.5	14.7	14.6	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	1.0	1.3
	15	15	45	1089.6	14.5		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-12	15	15	45	1222.8	16.3	16.2	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	0.9	1.3
	15	15	45	1207.4	16.1		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-13	15	15	45	1238.2	16.5	16.5	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	0.3	0.5
	15	15	45	1232.1	16.4		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-14	15	15	45	1270.2	16.9	16.5	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	4.1	5.6
	15	15	45	1199.4	16.0		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		
M-15	15	15	45	1401.6	18.7	18.8	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7	1.0	1.4
	15	15	45	1421.2	18.9		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	7		


 Rivaldo Obías Henry
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO
 TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
 FECHA DE ENSAYO : 7 DE JUNIO DEL 2019
 CÓDIGO : N.T.P. 339.078 - 2012 / ASTM C-78/78M - 10
 TÍTULO : CONCRETO.MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA A LOS TERCIOS DEL TRAMO

Muestra N°	Base (b) (cm)	Altura (h) (cm)	Luz libre (L) (cm)	Carga (P) (kg)	MR (kg/cm2)	MR prom (kg/cm2)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Ubicación de la falla	Antigüedad del Espécimen	Coef. de Variación (%)	Variación (%)
M-1	15	15	45	851.9	11.4	11.4	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.1	0.1
	15	15	45	852.9	11.4		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-2	15	15	45	880.5	11.7	11.9	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	2.4	3.3
	15	15	45	910.4	12.1		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-3	15	15	45	961.7	12.8	12.9	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	1.3	1.8
	15	15	45	979.3	13.1		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-4	15	15	45	977.2	13.0	13.1	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.6	0.9
	15	15	45	985.6	13.1		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-5	15	15	45	1423.3	19.0	18.9	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.3	0.4
	15	15	45	1416.9	18.9		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-6	15	15	45	1427.8	19.0	19.0	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.4	0.6
	15	15	45	1419.2	18.9		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-7	15	15	45	1587.9	21.2	21.0	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.8	1.2
	15	15	45	1569.1	20.9		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-8	15	15	45	1629.0	21.7	21.6	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.6	0.9
	15	15	45	1614.3	21.5		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		

Rivadeneyra Obdías Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"
 UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE
 FECHA DE ENSAYO : 7 DE JUNIO DEL 2019
 CÓDIGO : N.T.P. 339.078 - 2012 / ASTM C-78/78M - 10
 TÍTULO : CONCRETO.MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO EN VIGAS SIMPLEMENTE APOYADAS CON CARGA A LOS TERCIOS DEL TRAMO

Muestra N°	Base (b) (cm)	Altura (h) (cm)	Luz libre (L) (cm)	Carga (P) (kg)	MR (kg/cm ²)	MR prom. (kg/cm ²)	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Ubicación de la falla	Antigüedad del Espécimen	Coef. de Variación (%)	Variación (%)
M-9	15	15	45	1686.4	22.5	22.4	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.7	0.9
	15	15	45	1670.5	22.3		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-10	15	15	45	1747.4	23.3	23.4	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.4	0.6
	15	15	45	1758.4	23.4		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-11	15	15	45	1809.7	24.1	24.1	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.4	0.6
	15	15	45	1799.3	24.0		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-12	15	15	45	1865.3	24.9	24.8	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.5	0.7
	15	15	45	1851.8	24.7		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-13	15	15	45	2072.1	27.6	27.6	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.3	0.5
	15	15	45	2062.3	27.5		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-14	15	15	45	2187.1	29.2	29.0	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.7	1.0
	15	15	45	2165.2	28.9		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		
M-15	15	15	45	2309.6	30.8	30.7	10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28	0.6	0.8
	15	15	45	2291.6	30.6		10/05/2019	07/06/2019	Tercio central	28		


Rivadeneira Oblitas Henry
TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 28: Resistencia a la degradación por impacto y abrasión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 10 DE SETIEMBRE DEL 2019

CÓDIGO : N.T.P. 339.239 - 2018 / ASTM C-1747/1747M - 11

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE POR IMPACTO Y ABRASIÓN

Muestra N°	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Abrasión (%)	Abrasión prom.(%)	N° golpes de compactación	Edad de especímenes	Desviación Estándar (%)
M - 1	1488	1612	1527	4627	2014	56.5	56.8	5	7 días	0.4
	1542	1531	1643	4716	2026	57.0		5		
M - 2	1517	1634	1630	4781	2169	54.6	54.9	5	7 días	0.3
	1599	1514	1573	4686	2104	55.1		5		
M - 3	1501	1571	1519	4591	2161	52.9	53.0	5	7 días	0.1
	1522	1639	1528	4689	2199	53.1		5		
M - 4	1655	1547	1614	4816	2327	51.7	51.9	5	7 días	0.3
	1643	1601	1577	4821	2311	52.1		5		
M - 5	1674	1520	1600	4794	2394	50.1	49.8	5	7 días	0.4
	1646	1436	1511	4593	2319	49.5		5		
M - 6	1611	1542	1557	4710	2406	48.9	48.8	5	7 días	0.1
	1544	1633	1539	4716	2419	48.7		5		
M - 7	1611	1610	1641	4862	2519	48.2	48.6	5	7 días	0.5
	1469	1528	1588	4585	2341	48.9		5		
M - 8	1588	1624	1543	4755	2505	47.3	47.7	5	7 días	0.6
	1594	1565	1613	4772	2473	48.2		5		

Observación: La temperatura mínima de curado inicial fue 16°C.

La temperatura máxima de curado inicial fue 24°C.


 Rivaldo Meyra Oblitas
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 10 DE SETIEMBRE DEL 2019

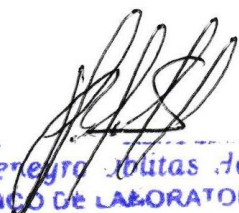
CÓDIGO : N.T.P. 339.239 - 2018 / ASTM C-1747/1747M - 11

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE POR IMPACTO Y ABRASIÓN

Muestra N°	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Abrasión (%)	Abrasión prom.(%)	Nº golpes de compactación	Edad de especímenes	Desviación Estándar (%)
M - 9	1454	1509	1604	4567	2574	43.6	44.0	5	7 días	0.5
	1564	1544	1615	4723	2630	44.3		5		
M - 10	1617	1600	1525	4742	2755	41.9	42.3	5	7 días	0.5
	1533	1549	1636	4718	2707	42.6		5		
M - 11	1606	1611	1571	4788	2904	39.3	39.8	5	7 días	0.7
	1499	1522	1420	4441	2650	40.3		5		
M - 12	1611	1555	1621	4787	3051	36.3	35.8	5	7 días	0.6
	1641	1539	1588	4768	3079	35.4		5		
M - 13	1545	1563	1499	4607	3048	33.8	34.1	5	7 días	0.3
	1647	1616	1537	4800	3155	34.3		5		
M - 14	1614	1677	1521	4812	3220	33.1	33.2	5	7 días	0.1
	1656	1532	1604	4792	3199	33.2		5		
M - 15	1503	1566	1578	4647	3151	32.2	31.8	5	7 días	0.6
	1552	1433	1447	4432	3041	31.4		5		

Observación: La temperatura mínima de curado inicial fue 16°C.

La temperatura máxima de curado inicial fue 24°C.


 Rivaldo J. Rojas
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 1 DE OCTUBRE DEL 2019

CÓDIGO : N.T.P. 339.239 - 2018 / ASTM C-1747/1747M - 11

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE POR IMPACTO Y ABRASIÓN

Muestra N°	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Abrasión (%)	Abrasión prom.(%)	N° golpes de compactación	Edad de especímenes	Desviación Estándar (%)
M - 1	1679	1574	1608	4861	2458	49.4	49.2	5	28 días	0.3
	1608	1509	1544	4661	2376	49.0		5		
M - 2	1573	1529	1530	4632	2371	48.8	48.6	5	28 días	0.3
	1618	1596	1538	4752	2455	48.3		5		
M - 3	1619	1538	1669	4826	2499	48.2	47.9	5	28 días	0.4
	1530	1498	1697	4725	2474	47.6		5		
M - 4	1662	1648	1498	4808	2606	45.8	46.1	5	28 días	0.4
	1568	1643	1543	4754	2551	46.3		5		
M - 5	1587	1598	1687	4872	2751	43.5	43.2	5	28 días	0.5
	1539	1538	1574	4651	2660	42.8		5		
M - 6	1598	1602	1520	4720	2741	41.9	42.2	5	7 días	0.4
	1537	1507	1569	4613	2653	42.5		5		
M - 7	1435	1454	1523	4412	2666	39.6	39.3	5	28 días	0.5
	1489	1543	1406	4438	2710	38.9		5		
M - 8	1401	1521	1439	4361	2788	36.1	36.3	5	28 días	0.3
	1456	1489	1546	4491	2854	36.5		5		

Observación: La temperatura mínima de curado inicial fue 16°C.

La temperatura máxima de curado inicial fue 23°C.


 Ricardo Neyra Oblitas
 TÉCNICO DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

FECHA DE ENSAYO : 1 DE OCTUBRE DEL 2019

CÓDIGO : N.T.P. 339.239 - 2018 / ASTM C-1747/1747M - 11

TÍTULO : CONCRETO. MÉTODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE POR IMPACTO Y ABRASIÓN

Muestra N°	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa 3 (g)	Masa Inicial (g)	Masa Final (g)	Abrasión (%)	Abrasión prom.(%)	N° golpes de compactación	Edad de especímenes	Desviación Estándar (%)
M - 9	1682	1795	1591	5068	3092	39.0	39.1	5	28 días	0.2
	1646	1690	1611	4947	3006	39.2		5		
M - 10	1550	1732	1771	5053	3167	37.3	37.4	5	28 días	0.1
	1613	1645	1687	4945	3091	37.5		5		
M - 11	1563	1843	1567	4973	3202	35.6	35.7	5	28 días	0.1
	1564	1532	1581	4677	3003	35.8		5		
M - 12	1565	1478	1463	4506	3011	33.2	33.6	5	28 días	0.6
	1574	1501	1466	4541	2998	34.0		5		
M - 13	1434	1474	1495	4403	2973	32.5	32.7	5	28 días	0.3
	1484	1419	1465	4368	2932	32.9		5		
M - 14	1502	1435	1448	4385	3008	31.4	31.7	5	28 días	0.4
	1439	1441	1601	4481	3049	32.0		5		
M - 15	1412	1464	1435	4311	3064	28.9	28.8	5	28 días	0.2
	1665	1495	1474	4634	3307	28.6		5		

Observación: La temperatura mínima de curado inicial fue 16°C.

La temperatura máxima de curado inicial fue 23°C.


 RIVINDYNE G. J. Obilias de los
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 29 Ensayo de permeabilidad ACI 522-R



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS
 Av. San Josemaría Escrivá N°855, Chiclayo - Perú

ESCUELA : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

TESISTA : JACINTO AQUINO, JORGE ERNESTO

TESIS : "DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE UTILIZANDO DIFERENTES PORCENTAJES DE AGREGADO FINO Y ADITIVOS EN LA CIUDAD DE CHICLAYO"

UBICACIÓN : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

CÓDIGO : ACI-522R

FECHA : 11 DE NOVIEMBRE DEL 2019

TÍTULO : Método de Ensayo para determinar la coeficiente de permeabilidad en Concretos Porosos

Muestra	L	a	h1	A	H2	Tiempo	k .	k prom.	Desviación Estándar
Nº	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ²)	(cm)	(seg)	(cm/seg)	(cm/seg)	(cm/s)
M-1	20	80.9	45	80.9	5	10.52	4.18	4.05	0.18
	20	80.9	45	80.9	5	11.21	3.92		
M-2	20	80.9	45	80.9	5	12.15	3.62	3.74	0.18
	20	80.9	45	80.9	5	11.37	3.86		
M-3	20	80.9	45	80.9	5	12.24	3.59	3.61	0.03
	20	80.9	45	80.9	5	12.12	3.63		
M-4	20	80.9	45	80.9	5	13.09	3.36	3.38	0.04
	20	80.9	45	80.9	5	12.88	3.41		
M-5	20	80.9	45	80.9	5	13.69	3.21	3.23	0.03
	20	80.9	45	80.9	5	13.54	3.25		
M-6	20	80.9	45	80.9	5	13.57	3.24	3.20	0.05
	20	80.9	45	80.9	5	13.87	3.17		
M-7	20	80.9	45	80.9	5	15.79	2.78	2.83	0.07
	20	80.9	45	80.9	5	15.26	2.88		
M-8	20	80.9	45	80.9	5	15.94	2.76	2.81	0.08
	20	80.9	45	80.9	5	15.32	2.87		
M-9	20	80.9	45	80.9	5	16.43	2.67	2.64	0.05
	20	80.9	45	80.9	5	16.84	2.61		
M-10	20	80.9	45	80.9	5	16.74	2.63	2.60	0.03
	20	80.9	45	80.9	5	17.06	2.58		
M-11	20	80.9	45	80.9	5	17.19	2.56	2.52	0.05
	20	80.9	45	80.9	5	17.64	2.49		
M-12	20	80.9	45	80.9	5	18.91	2.32	2.39	0.09
	20	80.9	45	80.9	5	17.92	2.45		
M-13	20	80.9	45	80.9	5	19.55	2.25	2.24	0.01
	20	80.9	45	80.9	5	19.69	2.23		
M-14	20	80.9	45	80.9	5	19.23	2.29	2.23	0.08
	20	80.9	45	80.9	5	20.22	2.17		
M-15	20	80.9	45	80.9	5	21.45	2.05	1.99	0.09
	20	80.9	45	80.9	5	22.81	1.93		


 Rivaldeyra Jbaitas Henz
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Anexo 30: Diseños de mezcla de concreto permeable



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE

NORMA ACI 522R-12 (M - 1)

Datos preliminares

a) **Agregados:** Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUELT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	0 %
a/c	0.3
Adi	0 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif.

b) **Cemento Tipo I Pacasmayo** c) $f'c = 80 \text{ kg/cm}^2$

Pe = 3.10 g/cm^3

d) **Diseño para un:**

1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	281.09 kg	3.100 g/cm ³	0.091 m ³
A.grueso	1399.79 kg	2.824 g/cm ³	0.496 m ³
A.fino	0.00 kg	2.583 g/cm ³	0.000 m ³
Agua efectiva	90.22 kg	1.000 g/cm ³	0.090 m ³
Aditivo	0.00 kg	1.200 g/cm ³	0.000 m ³
Vacíos	-----	-----	0.323 m ³

Masa total de materiales 1771.09 kg

Volumen absoluto: 0.677 m³

Densidad Teórica: 2617.58 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.000	4.980	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)
Volumen	1.000	0.000	5.073	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	0.0 kg/saco	211.6 kg/saco	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.321
a.efectiva/c (con aditivo)	0.321

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1773.20 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2617.58 kg/m ³
% Vacíos Real	32.3 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.151 m ³
Factor Cemento:	6.6



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 2)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	0 %
a/c	0.3
Adi	250 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo **c) f'c=** 95 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	281.09 kg	3.100 g/cm ³	0.091 m ³
A.grueso	1396.86 kg	2.824 g/cm ³	0.495 m ³
A.fino	0.00 kg	2.583 g/cm ³	0.000 m ³
Agua efectiva	85.71 kg	1.000 g/cm ³	0.086 m ³
Aditivo	1.98 kg	1.200 g/cm ³	0.002 m ³
Vacíos	-----	-----	0.327 m ³

Masa total de material: 1765.64 kg

Volumen absoluto: 0.673 m³

Densidad Teórica: 2624.62 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.000	4.969	13.0 Lt/saco)	250 mL/saco)
Volumen	1.000	0.000	5.062	13.0 Lt/saco)	250 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	0.0 kg/saco	211.2 kg/saco	13.0 Lt/saco)	250 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.321
a.efectiva/c (con aditivo)	0.305

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1770.00 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2624.62 kg/m ³
% Vacíos Real	32.6 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.151 m ³
Factor Cemento:	6.6



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE

NORMA ACI 522R-12 (M - 3)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	0 %
a/c	0.3
Adi	500 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastiff.

b) Cemento Tipo I Pacasmayo c) f'c= 90 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	281.09 kg	3.100 g/cm ³	0.091 m ³
A.grueso	1399.34 kg	2.824 g/cm ³	0.496 m ³
A.fino	0.00 kg	2.583 g/cm ³	0.000 m ³
Agua efectiva	81.20 kg	1.000 g/cm ³	0.081 m ³
Aditivo	3.97 kg	1.200 g/cm ³	0.003 m ³
Vacíos	-----	-----	0.329 m ³

Masa total de material 1765.59 kg

Volumen absoluto: 0.671 m³

Densidad Teórica: 2632.30 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.000	4.978	12.3 Lt/saco)	500 mL/saco)
Volumen	1.000	0.000	5.071	12.3 Lt/saco)	500 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	0.0 kg/saco	211.6 kg/saco	12.3 Lt/saco)	500 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.321
a.efectiva/c (con aditivo)	0.289

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1777.10 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2632.30 kg/m ³
% Vacíos Real	32.5 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.150 m ³
Factor Cemento:	6.7



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 4)

Datos preliminares

a) **Agregados:** Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	5 %
a/c	0.3
Adi	0 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif.

b) **Cemento Tipo I Pacasmayo** c) $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$
 $Pe = 3.10 \text{ g/cm}^3$

d) **Diseño para un:**
 1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	289.12 kg	3.100 g/cm ³	0.093 m ³
A.grueso	1326.50 kg	2.824 g/cm ³	0.470 m ³
A.fino	63.87 kg	2.583 g/cm ³	0.025 m ³
Agua efectiva	92.53 kg	1.000 g/cm ³	0.093 m ³
Aditivo	0.00 kg	1.200 g/cm ³	0.000 m ³
Vacíos	-----	-----	0.320 m ³

Masa total de material: 1772.02 kg

Volumen absoluto: 0.680 m³

Densidad Teórica: 2604.80 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.221	4.588	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)
Volumen	1.000	0.208	4.673	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	9.4 kg/saco	195.0 kg/saco	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.320
a.efectiva/c (con aditivo)	0.320

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1786.60 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2604.80 kg/m ³
% Vacíos Real	31.4 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.146 m ³
Factor Cemento:	6.9



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 5)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	5 %
a/c	0.3
Adi	250 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo **c) f'c=** 110 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	289.12 kg	3.100 g/cm ³	0.093 m ³
A.grueso	1339.77 kg	2.824 g/cm ³	0.474 m ³
A.fino	64.51 kg	2.583 g/cm ³	0.025 m ³
Agua efectiva	87.91 kg	1.000 g/cm ³	0.088 m ³
Aditivo	2.04 kg	1.200 g/cm ³	0.002 m ³
Vacíos	-----	-----	0.318 m ³

Masa total de material 1783.34 kg

Volumen absoluto: 0.682 m³

Densidad Teórica: 2613.68 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.223	4.634	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)
Volumen	1.000	0.210	4.720	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	9.5 kg/saco	196.9 kg/saco	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.320
a.efectiva/c (con aditivo)	0.304

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1786.60 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2613.68 kg/m ³
% Vacíos Real	31.6 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.147 m ³
Factor Cemento:	6.8

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE

NORMA ACI 522R-12 (M - 6)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	5 %
a/c	0.3
Adi	500 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo c) f'c= 115 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	289.12 kg	3.100 g/cm ³	0.093 m ³
A.grueso	1355.96 kg	2.824 g/cm ³	0.480 m ³
A.fino	65.29 kg	2.583 g/cm ³	0.025 m ³
Agua efectiva	83.28 kg	1.000 g/cm ³	0.083 m ³
Aditivo	4.08 kg	1.200 g/cm ³	0.003 m ³
Vacíos	-----	-----	0.315 m ³

Masa total de materiales 1797.73 kg

Volumen absoluto: 0.685 m³

Densidad Teórica: 2622.81 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.226	4.690	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)
Volumen	1.000	0.213	4.777	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	9.6 kg/saco	199.3 kg/saco	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.320
a.efectiva/c (con aditivo)	0.288

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1817.30 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2622.81 kg/m ³
% Vacíos Real	30.7 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.145 m ³
Factor Cemento:	6.9



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 7)

Datos preliminares

a) **Agregados:** Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	10 %
a/c	0.3
Adi	0 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) **Cemento Tipo I Pacasmayo** c) $f'c = 120 \text{ kg/cm}^2$
 $Pe = 3.10 \text{ g/cm}^3$

d) **Diseño para un:**
 1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	297.15 kg	3.100 g/cm ³	0.096 m ³
A.grueso	1306.34 kg	2.824 g/cm ³	0.463 m ³
A.fino	132.79 kg	2.583 g/cm ³	0.051 m ³
Agua efectiva	94.85 kg	1.000 g/cm ³	0.095 m ³
Aditivo	0.00 kg	1.200 g/cm ³	0.000 m ³
Vacíos	-----	-----	0.295 m ³

Masa total de material 1831.13 kg

Volumen absoluto: 0.705 m³

Densidad Teórica: 2598.31 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.447	4.396	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)
Volumen	1.000	0.421	4.478	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	19.0 kg/saco	186.8 kg/saco	13.6 Lt/saco)	0 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.319
a.efectiva/c (con aditivo)	0.319

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1842.00 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2598.31 kg/m ³
% Vacíos Real	29.1 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.142 m ³
Factor Cemento:	7.0

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 8)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	10 %
a/c	0.3
Adi	250 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo c) f'c= 120 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	297.15 kg	3.100 g/cm ³	0.096 m ³
A.grueso	1299.96 kg	2.824 g/cm ³	0.460 m ³
A.fino	132.14 kg	2.583 g/cm ³	0.051 m ³
Agua efectiva	90.11 kg	1.000 g/cm ³	0.090 m ³
Aditivo	2.10 kg	1.200 g/cm ³	0.002 m ³
Vacíos	-----	-----	0.301 m ³

Masa total de material 1821.46 kg

Volumen absoluto: 0.699 m³

Densidad Teórica: 2604.93 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.445	4.375	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)
Volumen	1.000	0.419	4.456	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	18.9 kg/saco	185.9 kg/saco	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.319
a.efectiva/c (con aditivo)	0.303

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1832.30 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2604.93 kg/m ³
% Vacíos Real	29.7 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.142 m ³
Factor Cemento:	7.0



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE

NORMA ACI 522R-12 (M - 9)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	10 %
a/c	0.3
Adi	500 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo **c) f'c=** 125 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	297.15 kg	3.100 g/cm ³	0.096 m ³
A.grueso	1383.78 kg	2.824 g/cm ³	0.490 m ³
A.fino	140.66 kg	2.583 g/cm ³	0.054 m ³
Agua efectiva	85.37 kg	1.000 g/cm ³	0.085 m ³
Aditivo	4.20 kg	1.200 g/cm ³	0.003 m ³
Vacíos	-----	-----	0.271 m ³

Masa total de material 1911.16 kg

Volumen absoluto: 0.729 m³

Densidad Teórica: 2620.81 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.473	4.657	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)
Volumen	1.000	0.446	4.743	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	20.1 kg/saco	197.9 kg/saco	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.319
a.efectiva/c (con aditivo)	0.287

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1921.70 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2620.81 kg/m ³
% Vacíos Real	26.7 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.142 m ³
Factor Cemento:	7.0



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 10)

Datos preliminares

a) **Agregados:** Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUULT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	15 %
a/c	0.3
Adi	0 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) **Cemento Tipo I Pacasmayo** c) $f'c = 135 \text{ kg/cm}^2$
 $P_e = 3.10 \text{ g/cm}^3$

d) **Diseño para un:**
 1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	305.18 kg	3.100 g/cm ³	0.098 m ³
A.grueso	1302.23 kg	2.824 g/cm ³	0.461 m ³
A.fino	210.24 kg	2.583 g/cm ³	0.081 m ³
Agua efectiva	97.14 kg	1.000 g/cm ³	0.097 m ³
Aditivo	0.00 kg	1.200 g/cm ³	0.000 m ³
Vacíos	-----	-----	0.262 m ³

Masa total de materiales 1914.79 kg

Volumen absoluto: 0.738 m³

Densidad Teórica: 2594.05 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.689	4.267	13.5 Lt/saco)	0 mL/saco)
Volumen	1.000	0.650	4.346	13.5 Lt/saco)	0 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	29.3 kg/saco	181.3 kg/saco	13.5 Lt/saco)	0 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.318
a.efectiva/c (con aditivo)	0.318

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1937.90 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2594.05 kg/m ³
% Vacíos Real	25.3 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.138 m ³
Factor Cemento:	7.3



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE

NORMA ACI 522R-12 (M - 11)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUELT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	15 %
a/c	0.3
Adi	250 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo **c) f'c=** 140 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	305.18 kg	3.100 g/cm ³	0.098 m ³
A.grueso	1330.32 kg	2.824 g/cm ³	0.471 m ³
A.fino	214.78 kg	2.583 g/cm ³	0.083 m ³
Agua efectiva	92.29 kg	1.000 g/cm ³	0.092 m ³
Aditivo	2.15 kg	1.200 g/cm ³	0.002 m ³
Vacíos	-----	-----	0.253 m ³

Masa total de materiales 1944.72 kg

Volumen absoluto: 0.747 m³

Densidad Teórica: 2604.10 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.704	4.359	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)
Volumen	1.000	0.664	4.440	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	29.9 kg/saco	185.3 kg/saco	12.9 Lt/saco)	250 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.318
a.efectiva/c (con aditivo)	0.302

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1957.90 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2604.10 kg/m ³
% Vacíos Real	24.8 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.138 m ³
Factor Cemento:	7.2



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 12)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUULT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	15 %
a/c	0.3
Adi	500 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo c) f'c= 150 kg/cm²
 Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
 1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	305.18 kg	3.100 g/cm ³	0.098 m ³
A.grueso	1335.73 kg	2.824 g/cm ³	0.473 m ³
A.fino	215.65 kg	2.583 g/cm ³	0.083 m ³
Agua efectiva	87.43 kg	1.000 g/cm ³	0.087 m ³
Aditivo	4.31 kg	1.200 g/cm ³	0.004 m ³
Vacíos	-----	-----	0.254 m ³

Masa total de material 1948.30 kg

Volumen absoluto: 0.746 m³

Densidad Teórica: 2611.72 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.707	4.377	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)
Volumen	1.000	0.666	4.458	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	30.0 kg/saco	186.0 kg/saco	12.2 Lt/saco)	500 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.318
a.efectiva/c (con aditivo)	0.286

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1954.50 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2611.72 kg/m ³
% Vacíos Real	25.2 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.139 m ³
Factor Cemento:	7.2



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 13)

Datos preliminares

a) **Agregados:** Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	20 %
a/c	0.3
Adi	0 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) **Cemento Tipo I Pacasmayo** c) $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$
 $Pe = 3.10 \text{ g/cm}^3$

d) **Diseño para un:**
 1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	313.21 kg	3.100 g/cm ³	0.101 m ³
A.grueso	1265.84 kg	2.824 g/cm ³	0.448 m ³
A.fino	289.52 kg	2.583 g/cm ³	0.112 m ³
Agua efectiva	99.44 kg	1.000 g/cm ³	0.099 m ³
Aditivo	0.00 kg	1.200 g/cm ³	0.000 m ³
Vacíos	-----	-----	0.239 m ³

Masa total de material 1968.01 kg

Volumen absoluto: 0.761 m³

Densidad Teórica: 2586.64 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.924	4.041	13.5 Lt/saco)	0 mL/saco)
Volumen	1.000	0.872	4.117	13.5 Lt/saco)	0 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	39.3 kg/saco	171.8 kg/saco	13.5 Lt/saco)	0 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.317
a.efectiva/c (con aditivo)	0.317

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1972.90 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2586.64 kg/m ³
% Vacíos Real	23.7 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.135 m ³
Factor Cemento:	7.4



**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

Av. San Josemaría Escrivá N°855. Chiclayo - Perú

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 14)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUOLT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	20 %
a/c	0.3
Adi	250 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo **c) f'c=** 175 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	313.21 kg	3.100 g/cm ³	0.101 m ³
A.grueso	1265.99 kg	2.824 g/cm ³	0.448 m ³
A.fino	289.55 kg	2.583 g/cm ³	0.112 m ³
Agua efectiva	94.47 kg	1.000 g/cm ³	0.094 m ³
Aditivo	2.21 kg	1.200 g/cm ³	0.002 m ³
Vacíos	-----	-----	0.242 m ³

Masa total de material 1965.43 kg

Volumen absoluto: 0.758 m³

Densidad Teórica: 2593.69 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.924	4.042	12.8 Lt/saco)	250 mL/saco)
Volumen	1.000	0.872	4.117	12.8 Lt/saco)	250 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	39.3 kg/saco	171.8 kg/saco	12.8 Lt/saco)	250 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.317
a.efectiva/c (con aditivo)	0.302

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1966.30 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2593.69 kg/m ³
% Vacíos Real	24.2 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.136 m ³
Factor Cemento:	7.4

DISEÑO FINAL DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE
NORMA ACI 522R-12 (M - 15)

Datos preliminares

a) Agregados: Cantera La Victoria

Agregado	A.grueso(Huso 67)	A.fino
TMN	3/4"	N° 04
MF	6.68	2.63
P.U.SECO.COMP	1609.03 kg/m ³	1800.42 kg/m ³
P.U.SECO.SUULT	1466.64 kg/m ³	1578.22 kg/m ³
P.E. de masa seco	2.801 g/cm ³	2.557 g/cm ³
Cont.Humedad	0.45 %	0.85 %
Cont.Absorción	0.82 %	1.01 %

Datos	
a/A	20 %
a/c	0.3
Adi	500 mL

a/A=A.fino/A. Global

a/c=agua/cemento

Adi=Aditivo SikaCem Plastif

b) Cemento Tipo I Pacasmayo c) f'c= 210 kg/cm²
Pe = 3.10 g/cm³

d) Diseño para un:
1.00 m³

1) Cantidad de materiales húmedos por 1m³

	Pesos	P.e. SSS	Volumen
Cemento	313.21 kg	3.100 g/cm ³	0.101 m ³
A.grueso	1288.13 kg	2.824 g/cm ³	0.456 m ³
A.fino	294.62 kg	2.583 g/cm ³	0.114 m ³
Agua efectiva	89.50 kg	1.000 g/cm ³	0.089 m ³
Aditivo	4.42 kg	1.200 g/cm ³	0.004 m ³
Vacíos	-----	-----	0.236 m ³

Masa total de material 1989.88 kg

Volumen absoluto: 0.764 m³

Densidad Teórica: 2603.03 kg/m³

2) Proporciones con agregados húmedos

	Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
Peso	1.000	0.941	4.113	12.1 Lt/saco)	500 mL/saco)
Volumen	1.000	0.887	4.189	12.1 Lt/saco)	500 mL/saco)

3) Pesos por tanda de un saco

Cemento	A.fino	A.grueso	Agua	Aditivo
42.5 kg/saco	40.0 kg/saco	174.8 kg/saco	12.1 Lt/saco)	500 mL/saco)

a/c de diseño	0.300
a.efectiva/c (sin aditivo)	0.317
a.efectiva/c (con aditivo)	0.286

4) Contenido de vacíos real

Densidad(D)	1989.40 kg/m ³
Densidad Teórica (T)	2603.03 kg/m ³
% Vacíos Real	23.6 %

5) Rendimiento y factor cemento

Rendimiento de la tanda:	0.136 m ³
Factor Cemento:	7.4

Anexo 31: Ensayo de resistencia a la flexión en vigas de concreto permeable



Figura 183 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-15 (28 días)

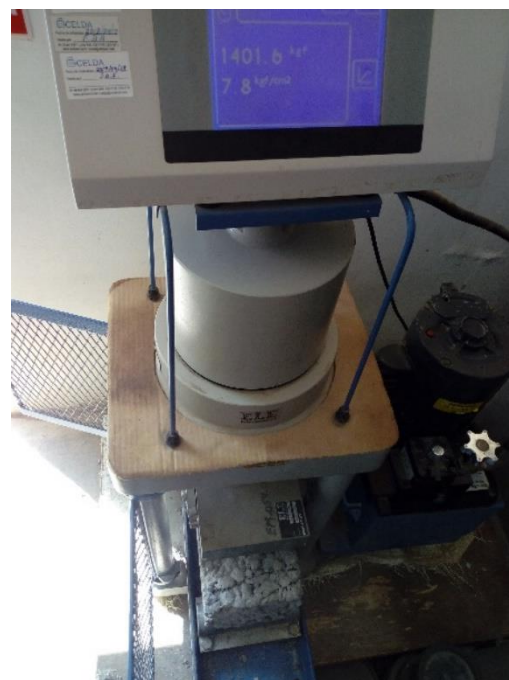


Figura 184 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-15 (7 días)



Figura 185 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-14 (28 días)



Figura 186 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-14 (7 días)



Figura 187 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-13 (28 días)



Figura 188 Ensayo de resistencia a la flexión en muestra M-13 (7 días)

Anexo 32: Ensayo de resistencia a la compresión en cilindros de concreto permeable



Figura 189 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-15 (28 días)



Figura 190 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-15 (14 días)



Figura 191 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-15 (7 días)



Figura 192 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-14 (28 días)



Figura 193 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-14 (14 días)



Figura 194 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-14 (7 días)



Figura 195 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-13 (28 días)



Figura 196 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-13 (14 días)



Figura 197 Ensayo de resistencia a la compresión en muestra M-13 (7 días)



Figura 198 Cilindro de concreto permeable antes de ensayo a compresión

Anexo 33: Ensayo de resistencia a la degradación por impacto y abrasión

Figura 199 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-15 (28 días)



Figura 200 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-15 (7 días)



Figura 201 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-14 (28 días)



Figura 202 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-14 (7 días)



Figura 203 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-13 (28 días)



Figura 204 Ensayo de resistencia al impacto y abrasión M-13 (7 días)

Anexo 34 Ensayo de permeabilidad



Figura 205 Ensayo de permeabilidad ACI-522R

Nota: (1) Nivelación del permeámetro, (2) Sellado del perímetro de los cilindros con silicona, (3) Llenado del permeámetro, (4) Ensayo del espécimen de concreto, (5) Prueba de infiltración.

Anexo 35: Especificaciones para la elaboración del concreto permeable

Este trabajo consiste en el abastecimiento de materiales, almacenamiento, fabricación, transporte, colocación, consolidación, curado y acabados de las losas de concreto permeable utilizadas como pases peatonales, ciclovías, y capa de rodadura en pavimentos de bajo tránsito. El concreto permeable estará compuesto por cemento Portland, agua, aditivo SikaCem Plastificante, agregados gruesos y poco o casi nada de agregado fino.

1. Método de ejecución

De acuerdo a los requisitos del proyecto, el Contratista podrá adquirir el concreto premezclado o preparado en obra, cumpliendo el diseño de mezcla planteado.

2. Materiales

a) Cemento: El cemento Portland debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C150/C150M, C595/C595M o C1157/C1157M. En caso de contener materiales suplementarios; como cenizas volantes, escoria de alto horno y humo de sílice, estos deben cumplir los requisitos de las normas ASTM C618, C989, C1240.

El cemento a usar del Tipo I, excepto, cuando se requieran otras características especiales en el concreto. Si el cemento es almacenado por un periodo superior a los dos meses, deberá ser ensayado para verificar si es satisfactorio su uso.

b) Agua: El agua deberá ser potable y estar libre de sustancias, tales como aceite, sales, ácidos, álcalis y otras sustancias deletéreas del concreto. En caso de usar agua reciclada, esta debe cumplir con la norma ASTM C94/C94M o ASHTO M-157.

c) Agregados: El agregado debe ser triturado, de peso normal y tener una gradación comprendida entre 3/8" a 3/4", con una granulometría similar al Huso 67. Además, debe ser estar libre de partículas escamosas, polvo o arcilla y productos químicos.

En general el agregado grueso y fino deben cumplir con los requisitos de las normas ASTM D448 y C33/C33M.

El agregado grueso debe cumplir con las siguientes características:

- Material más fino que la malla N°200 (NTP 400.018)Máximo 1%
- Contenido de terrones de arcilla (NTP 400.015)Máximo 5%
- Pérdida de masa por abrasión (ASTM C131) Máximo 50%
- Reactividad álcali/sílice (NTP 334.099) No reactivo
- Partículas con una o más caras fracturadas (ASTM D5821)Mínimo 80%

- Partículas con dos o más caras fracturadas (ASTM D5821):Mínimo 75%
- Partículas chatas y alargadas (NTP 400.040)Máximo 15%
- Índice de forma y textura (ASTM D3398)Mínimo 6%

El agregado fino debe cumplir con las siguientes características:

- Material más fino que la malla N°200 (NTP 400.018)Máximo 3%
- Contenido de terrones de arcilla (NTP 400.015)Máximo 3%
- Reactividad álcali/sílice (NTP 334.099)No reactivo
- Impurezas orgánicas (NTP 400.024).....No contiene
- Angularidad (ASTM C1252).....Mínimo 30%

d) Aditivos: Utilizar el aditivo reductor de agua de medio rango “SikaCem Plastificante” para mejorar la trabajabilidad y resistencia en todas las edades del concreto permeable. El aditivo debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C494/C494M.

La dosificación debe ser de 250 mL por bolsa de cemento cuando se desee mejorar la trabajabilidad y consistencia del concreto permeable.

La dosificación deber ser de 500 mL por bolsa de cemento cuando se desee mejorar la trabajabilidad y resistencia en todas las edades del concreto permeable.

3. Almacenamiento de materiales en obra

- a) Los materiales deberán almacenar y utilizarse en orden de llegada a la obra.
- b) Serán rechazadas las bolsas de cemento deterioradas o que no correspondan a la marca y tipo empleada en el diseño de mezcla.
- c) Las bolsas de cemento se almacenarán en pilas de 10, cubiertas de plástico, en un lugar techado, ventilado, libre de humedad y sin contacto con el suelo.
- d) El agregado se almacenará evitando su contaminación y segregación en lugares accesibles para su acomodo y traslado.
- e) El agua se almacenará en silos o tanques metálicos evitando su contaminación.

4. Mezclado del concreto

El concreto permeable debe ser mezclado para una colocación inmediata, considerando un 15% de desperdicio para diseños sin aditivo SikaCem Plastificante y un 10% para diseños con una cantidad mínima de 250 mL de aditivo por bolsa de cemento.

No está permitido el reemplado del concreto mediante la adicción de agua u otro material.

El mezclado debe cumplir los siguientes objetivos:

- a) La pasta deber recubrir totalmente la superficie de los agregados.

b) La tolerancia en peso de los materiales con respecto al diseño de mezcla:

- Cemento: 1%
- Agua: 1%
- Agregados: 2%
- Aditivos: 3%

5. Verificación del equipo de mezclado

El mezclado se realizará preferentemente utilizando simultáneamente dos o más trompos con una capacidad de 11p3 y una potencia de 13HP para aumentar la fuerza de mezclado y reducir el tiempo de colocación del concreto permeable, en ningún caso se mezclará a mano.

El equipo de mezclado debe cumplir los siguientes requerimientos:

- a) El desgaste de las paletas de mezclado no será mayor al 10% de la altura original.
- b) Los equipos empleados en la medición de agua y aditivo deben estar calibrados.
- c) El equipo de mezclado no debe obligar a modificar el tamaño máximo del agregado, emplear cantidades de agua mayores o a realizar un proceso de carga y descarga deficiente.
- d) El equipo debe ser limpiado al terminar la jornada, cuando se cambie el tipo de cemento o deje de funcionar 30 minutos o más.
- e) El interior del tambor de mezclado debe estar limpio de mortero o materiales que interfieran el proceso de mezclado.

6. Operación de cargado

1° Introducir un 20% del agua de mezclado, seguida de los agregados y el cemento, siempre con el agregado precediendo al cemento.

2° El cemento no debe incorporarse de forma separada para evitar la formación de grumos.

3° El aditivo reductor de agua SikaCem Plastificante se diluye en la última porción de agua.

4° Si se emplea más de un aditivo, estos deben incorporarse de manera separada para evitar reacciones químicas que puedan perjudicar el concreto permeable.

5° La tanda debe prepararse y emplearse lo más antes posibles a partir del momento en que el agua y el cemento entran en contacto.

6° El volumen de la tanda no excederá en un 10% la capacidad nominal de la mezcladora.

7. Tiempo de mezclado

a) El tiempo de mezclado inicia cuando todos los materiales sólidos están en la mezcladora y termina cuando se inicia la descarga del concreto.

b) El tiempo de mezclado de todos los componentes será como mínimo 2 minutos, por tratarse de un concreto seco.

c) Para mezclas de cantidades mayores al metro cubico, se incrementó 15 segundos por cada metro cubico de concreto o fracción que excede dicha cantidad.

d) El tiempo de mezclado excesivo genera un aumento de la temperatura, pérdida de la plasticidad del concreto, molienda del cemento, pérdida del agua de mezclado por evaporación y aumento de la consistencia.

8. Verificación antes de la colocación

a) Los encofrados pueden ser de madera, plástico o acero con la resistencia y estabilidad para soportar el rodillo de nivelación y compactación durante la colocación del concreto.

b) Los encofrados deben estar limpios y revestidos con algún agente desmoldante.

c) El material de la sub-base debe estar compactado de acuerdo a los requisitos de diseño y debe ser ligeramente humedecido antes de la colocación del concreto permeable.

d) El encofrado debe estar libre escombros, oxido no adherido y concreto endurecido.

9. Colocación y compactación del concreto permeable

1° Humedezca la subrasante o subbase con agua antes de la colocación del concreto de modo que el material esté saturado, pero sin agua estancada.

2° Deposite el concreto directamente en la subrasante o subbase, a menos que se especifique lo contrario. Esparcir el concreto permeable utilizando equipos mecánicos o manuales, evitando la segregación.

3° Compactar el concreto en capas con espesores máximos de 20cm, utilizando un rodillo liso estático o una plancha compactadora.

4° El número de pasadas cuando se utiliza una plancha compactadora dependerá de la energía de compactación calculada con la siguiente formula: $Y = \frac{\text{Fuerza centrífuga (kgf)}}{\text{Ancho (cm)} \times \text{Largo (cm)}}$.

Por ejemplo, si la fuerza centrífuga es de 1000 kg-f y la plancha es de 60cm x 42cm, se deberá pasar dos veces sobre la superficie del concreto para obtener una energía de compactación superior a la mínima de 0.66 kgf/cm².

5° El número de pasadas cuando se utiliza un rodillo liso estático dependerá de la energía de compactación lineal calculada con la siguiente formula: $Y = \frac{\text{Peso del rodillo (kgf)}}{\text{Largo (cm)}}$.

Por ejemplo, si el peso del rodillo es de 227 kg-f y su largo de 370 cm, se deberá pasar una vez sobre la superficie del concreto para obtener una energía de compactación lineal superior a la mínima de 0.66 kgf/cm.

6° Eliminar el concreto permeable sobrante fuera del encofrado utilizando el rodillo liso vibratorio o una regla de aluminio. El concreto eliminado puede volver a ser utilizado siempre y cuando se tomen las precauciones para evitar su alteración o contaminación.

e) Construir el pavimento permeable con las siguientes tolerancias:

- Desnivel: + 3/4"., -3/4".

- Espesor: +1 1/2"., -3/8".

- Profundidad de la junta de contracción: 1/4 del espesor del pavimento con una tolerancia de +1/4" in., -1/4" in.

10. Juntas

a) Unir las juntas de contracción a la profundidad y anchura especificadas en concreto fresco inmediatamente después de que se compacta.

b) Corte el concreto después de que haya endurecido lo suficiente como para evitar que el agregado se desprenda y este lo suficientemente fuerte como para controlar el agrietamiento del pavimento.

11. Curado

a) Iniciar el curado durante los primeros 20 minutos de haber colocado el concreto.

b) El curado del pavimento debe ser de forma continua por un tiempo mínimo de 7 días.

c) El curado consiste en cubrir completamente la superficie del concreto permeable y los bordes con polietileno de un espesor mínimo de 0.10 mm.

12. Apertura al tráfico

a) No permita el tráfico vehicular hasta que el concreto se haya curado durante al menos 7 días ininterrumpidos o alcanzado el 70% de su resistencia a la compresión final durante los cuales la temperatura ambiente haya excedido los 55°F (12.8°C) en todo momento.

13. Requerimiento del concreto permeable

a) Resistencia mínima a la compresión (NTP 339.034): 175 kg/cm².

b) Resistencia mínima a la flexo-tracción o módulo de rotura (NTP 339.078): 34 kg/cm².

c) Pérdida máxima de masa por abrasión e impacto (NTP 339.239): 40%.

d) Contenido mínimo de vacíos (NTP 339.230): 15%.

e) La tasa infiltración mínima (ASTM C1701) será mayor a la intensidad de lluvia de la zona donde se colocará el concreto permeable.

Anexo 36: Evaluación de Impacto Ambiental

1. Introducción

En el siguiente estudio se realiza una identificación y evaluación de los impactos ambientales generados durante la elaboración del concreto permeable; con el fin de proponer un Plan de Manejo Ambiental. El Plan de Manejo Ambiental expone medidas que permiten mitigar, prevenir y corregir los impactos generados por la elaboración del concreto permeable.

Para ello, se identificó inicialmente el área de influencia del proyecto, con el propósito de poder analizar la línea base del mismo.

A continuación, se identificó las actividades correspondientes al desarrollo del proyecto y los posibles impactos generados durante su ejecución mediante la Matriz de Leopold.

Además, se elaboró un Plan de Manejo Ambiental, el cual propone medidas para cada impacto generado por la elaboración del concreto permeable.

Finalmente, se concluyó que la elaboración de concreto permeable genera un impacto ambiental positivo, pues, permite el desarrollo sostenible de las ciudades.

2. Objetivos

2.1 Objetivo Principal

- Identificar, describir y evaluar los impactos ambientales producidos por la elaboración del concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivo SikaCem Plastificante en la ciudad de Chiclayo.

2.2 Objetivo Secundarios

- Describir el medio donde se desarrollará el proyecto.
- Reconocer los impactos generados por la elaboración de concreto permeable.
- Seleccionar el método para realizar la evaluación del impacto ambiental.
- Identificar las medidas de mitigación a los impactos generados.
- Elaborar un planes de manejo ambiental.

3. Descripción del proyecto

3.1 Nombre del proyecto

“Diseño de mezcla de concreto permeable utilizando diferentes porcentajes de agregado fino y aditivos en la ciudad de Chiclayo”

3.2 Ubicación Física del Proyecto

El proyecto que contempla el uso de agregado fino y aditivo SikaCem Plastificantes para la elaboración de concretos permeables, se desarrolló en el Laboratorio Materiales, Suelos y Pavimentos de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo del distrito de Chiclayo, provincia de Chiclayo, departamento de Lambayeque.

3.3 Determinación del Área de Influencia

A) Área de influencia directa (AID)

El área de influencia directa será la Universidad Santo Toribio de Mogrovejo, pues la fabricación de especímenes de concreto permeable y la realización de ensayos de calidad al mismo, tuvo lugar en el Laboratorio de Materiales, Suelos y Pavimentos de esta universidad.



Figura 206 Ubicación del proyecto

Fuente: Google Earth Pro

A) Área de influencia indirecta (AII)

El área de influencia indirecta es la ciudad de Chiclayo, pues el concreto permeable desarrollado en este proyecto puede ser elaborado con materiales de la zona y fue diseñado para evacuar intensidades de lluvia típicas de esta ciudad.

3.4 Línea Base Ambiental

A) Línea Base Física

- **Clima:** La ciudad de Chiclayo presenta un clima subtropical, seco, con fuertes vientos e intensidades de lluvia que pueden llegar a los 91.6 mm/h debido al Fenómeno del Niño. [59]

-Temperatura: La temperatura promedio es de 24°C a 25°C (aumenta de 5°C a 6 °C entre diciembre y marzo). Además, cada siete años se supera los 30°C debido a la presencia del Fenómeno del Niño. [60]

- Velocidad y dirección del viento: Los vientos van de sur a norte con velocidades máximas del 20 ms/s. [60]

- Humedad Relativa: La humedad atmosférica relativa promedio mínima es 78% y máxima de 83%. [60]

-Hidrología: La ciudad de Chiclayo se encuentra dentro de la intercuenca 137771 al norte de la cuenca Chancay, tiene una superficie de 5 555 km².

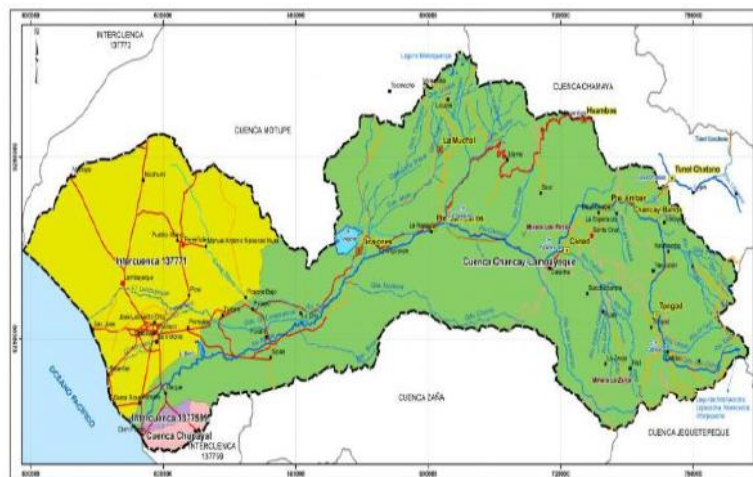


Figura 207 Ubicación de la Microcuenca 137771
Fuente: [61]

-Suelo: Chiclayo presenta suelos aluviales de textura arcillosa y estructura granular. [62]

-Relieve: El relieve se conforma por pequeñas lomas, planicies, zonas desérticas, valles y bosques secos. [62]

-Paisaje: Presenta un paisaje característico de las zonas urbanas con grandes áreas urbanas e industriales. [62]

B) Línea Base Biológica

-Flora: La flora más representativa la conforman el Algarrobo, el Faique, el Hualtaco, Zapote, el Palo Santo, el Pasallo, el Palo Verde; además de especies ornamentales propias de las zonas urbanas.

-Fauna: La fauna más representativa la conforman el venado, el Oso de anteojos, el Huerequeque, la Pava Aliblanca; además de especies propias de las zonas urbanas como roedores, cánidos, aves comunes y reptiles.

C) Línea Base Socioeconómica

- Vivienda: En el área urbana predominan las edificaciones de concreto y material noble, en tanto, en algunas zonas rurales y edificaciones del Centro Histórico de la ciudad de Chiclayo predominan las construcciones adobe y quincha.

-Transporte: El transporte individual y colectivo en vehículos menores como colectivos, mototaxis, taxis, buses y camiones predominan en la ciudad Chiclayo.

- Salud: En las inmediaciones del área de influencia directa se encuentran el Hospital Regional de Lambayeque y la Clínica USAT.

- Comercio: La ciudad de Chiclayo es zona de enlace entre los agentes económicos de la sierra o selva y ciudades de la costa.

4. Marco Legal

a) Ley General del Ambiente (Ley N° 28611): La presente ley regula los mecanismos dirigidos a la protección del medio ambiente. Además, ordena el marco legal para la gestión ambiental en el Perú.

b) Ley del sistema nacional de evaluación de impactos (ley n° 27446): Es el principal instrumento para asegurar la ejecución de proyectos ambientalmente sustentables en los sectores públicos y privados.

c) Constitución Política del Perú: La máxima norma legal establece

- Artículo 66: Los recursos naturales constituyen parte del patrimonio nacional y es facultad del estado asegurar su aprovechamiento, utilización y otorgamiento a terceros.

- Artículos 67: La política nacional es determinada por el estado, bajo el principio del uso sostenible de recursos.

d) Ley de evaluación de impacto ambiental para obras y actividades (ley 26786): Instauro la realización de estudios de impacto ambiental (EIA), debiendo promover la preservación de los ecosistemas, y recursos naturales.

e) **Resolución Ministerial N°188-97-EM/VMM:** Señala las condiciones a tener en cuenta durante la explotación de canteras de materiales destinados a la industria de la construcción.

f) **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos N°1278:** Señala derechos y responsabilidades en la gestión de residuos sólidos desde su generación hasta su disposición final.

g) **Ley General de Salud N°26842:** El estado se encarga de promover y regular la protección de la salud de las personas, siendo este derecho irrenunciable.

h) Estándares calidad ambiental del aire ECA D.S N°003-2017-MINAM

Tabla 82 Estándares de calidad ambiental del aire

Parámetros	Periodo	Valor ug/m3	Criterios de evaluación	Método de análisis
Material particulado con diámetro menor a 2.5 micras	24 horas	50	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	25	Media aritmética anual	
Material particulado con diámetro menor a 10 micras	24 horas	100	No exceder más de 7 veces al año	Separación inercial/filtración (Gravimetría)
	Anual	50	Media aritmética anual	

Fuente: [63]

i) Estándares calidad ambiental para el ruido DECRETO SUPREMO N° 085-2003

Tabla 83 Estándares calidad ambiental para el ruido

Zonas de aplicación	Nivel de Presión Sonora Continuo	
	7:01 am a 10:00 pm	10:01 pm a 7:00 am
Zona de Protección Especial	50 db	40 db
Zona Residencial	60 db	50 db
Zona Comercial	70 db	60 db
Zona Industrial	80 db	70 db

Fuente: [64]

5. Evaluación del impacto ambiental

Para la evaluación del impacto ambiental del proyecto se ha seleccionado la matriz de Leopold. La matriz está conformada por un cuadro de doble entrada, donde, los factores ambientales se encuentran en las columnas y las acciones o actividades del proyecto en filas.

El cuerpo de la matriz está conformado por cuadrículas divididas por diagonales, donde, la parte superior representa la magnitud, M precedida del signo + o -, según el impacto sea positivo o negativo en una escala de 1 a 10. En la parte inferior se encuentra la importancia, es una escala del 1 al 10. Al ser este un método subjetivo se adoptado la siguiente división de la escala para facilitar la evaluación de los impactos.

A continuación, se muestra la Matriz de Leopold elaborada para el presente proyecto.

Tabla 84 Matriz de Leopold

ACCIONES			OBTENCIÓN DE MATERIALES				DESARROLLO DEL PROYECTO					
			Obtención de agregados	Fabricación del aditivo	Fabricación del cemento	Producción del agua potable	Elaboración del concreto permeable	Ensayo a los agregados	Ensayos al concreto en estado fresco	Ensayos al concreto en estado endurecido		
Factores Ambientales afectados												
Físico	Aire	Gases de combustión	-4	-4	-4	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-68
		Material particulado	-3	-2	-3	-2	-2	-1	-2	-2	-2	-38
		Gases tóxicos	3	-4	-3	2	-1	-2	-1	-1	-1	-28
		Ruido	-2	-2	-2	-1	-2	-1	-2	-2	-2	-33
	Agua	Calidad de aguas subterráneas y superficiales		-2			-1					-12
		Disponibilidad de agua				6	-2	-1	-2	-2		17
	Suelo	Residuos Sólidos	-3	-3	-2	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-46
		Erosión	-5		-5							-40
		Geomorfología	-3		-3		-2					-30
Biológico	Flora	-2		-2	-1	-2					-13	
	Fauna	-2		-2	-1						-7	
Socioeconómico	Población	Empleabilidad	6	4	6	3	3	3	3	3	3	121
		Salud	-2	-3	-4	-2	-3	-2	-3	-3	-3	-67
	Economía	Desarrollo de la industria de la construcción	4	2	5	1	5					53
		Desarrollo del sector extractivo	4		4		4					24
	Servicios	Infraestructura vial	4	4	4	1	6	2	2	2	2	75
PROMEDIO ARITMÉTICO			-29	-36	-33	30	13	-1	-17	-19	-92	

Durante la etapa de obtención de materiales para la elaboración del concreto permeable, la fabricación del aditivo representa la mayor agresividad sobre los factores ambientales con una ponderación de -33. debido principalmente a la utilización de químicos para la obtención del aditivo.

Durante la etapa de desarrollo del concreto permeable, la realización de ensayos al concreto en estado endurecido representa la mayor agresividad sobre los factores ambientales con una ponderación de -19. debido principalmente a la generación de residuos sólidos y vapores dañinos para salud.

El aire es factor ambiental más frágil debido a la presencia de gases tóxicos y de combustión, particulados y la generación de ruidos en todas las fases del proyecto.

La población es el factor más beneficiado por el proyecto debido a la generación de empleo en todas las actividades, seguido del aumento de la infraestructura vial al desarrollar el concreto permeable como material de construcción.

6. Plan de manejo ambiental

Con el objetivo de establecer medidas que permitan prevenir, mitigar o corregir los impactos ambientales identificados y evaluados con la Matriz de Leopold, se elaboró un Plan de Manejo Ambiental.

El Plan de Maneja Ambiental contempla acciones para cada factor ambiental afectado y debe ser aplicado en cada fase del proyecto por el Contratista responsable de la elaboración del concreto permeable.

Tabla 85 Plan de Manejo Ambiental para impactos sobre el aire

Impacto	Actividad causante	Tipo de medida	Medidas Propuestas
Generación de gases de combustión	Circulación de maquinaria	Preventiva	Utilizar maquinaria en buen estado
	Utilización de equipos	Preventiva	Realizar un mantenimiento periódico de equipos
		Preventiva	Apagar los motores de la maquinaria cuando no se encuentre funcionando
	Fabricación de clinker	Mitigación	Utilización de energías alternativas como gas natural o biomasa en los hornos
Generación de particulados	Circulación de maquinaria	Preventiva	Humedecer el lugar por donde circulara la maquinaria
		Mitigación	Limitación la velocidad de circulación a 30 km/h en zonas no pavimentadas
	Extracción de materias primas	Mitigación	Sistemas de supresión de polvo
		Mitigación	Reducir los tiempo de explotación
		Mitigación	Instalación de barreras rompe vientos
	Transporte de materiales	Preventiva	Los volquetes que transporten materiales finos deberán ser cubiertos con lonas
	Molienda del clinker	Mitigación	Utilización de faja transportadoras con protección
	Mezclado con trompo del concreto permeable	Mitigación	Realizar el mezclado en un lugar ventilado
Mitigación		Utilizar la mezcladora a un 90% de su capacidad	
Generación de gases tóxicos	Fabricación de embases PET	Mitigación	Implementar un programa para el reciclaje de los envases del aditivo
	Fabricación de aditivo	Preventiva	Implementación de un plan para el cumplimiento de los estándares de calidad del aire
	Vapores desprendidos por el uso del aditivo	Mitigación	Realizar el mezclado en un lugar ventilado
	Realización de ensayos químicos al agregado	Mitigación	Realizar los ensayos en un laboratorio ventilado
Mitigación		Utilizar las cantidades mínimas de compuestos químicos requeridos en cada norma	
Generación de ruido	Circulación de maquinaria	Preventiva	Limitación la velocidad de circulación a 30 km/h en zonas no pavimentadas
		Mitigación	Instalación de barreras acústicas
		Mitigación	Realizar un mantenimiento periódico de equipos
		Mitigación	Instalación de silenciadores en los equipos
	Extracción de materias primas	Mitigación	Instalación de barreras acústicas
	Molienda del clinker	Mitigación	Instalación de barreras acústicas
	Mezclado con trompo del concreto permeable	Mitigación	Limitar su uso a horarios diurnos
	Utilización de la prensa hidráulica para ensayos de resistencia	Mitigación	Limitar su uso a horarios diurnos

Tabla 86 Plan de Manejo Ambiental para impactos sobre el agua, suelo, medio biológico y socioeconómico

Impacto	Actividad causante	Tipo de medida	Medidas Propuestas
Deterioro de la calidad del agua	Fabricación del aditivo	Preventiva	Plan para la eliminación de químicos usados en la fabricación de aditivos
	Utilización del aditivo durante el mezclado del concreto	Preventiva	Utilizar el aditivo en un lugar alejado de fuentes o cursos de agua
Disminución de la disponibilidad del agua	Elaboración del concreto permeable	Mitigación	Utilización del aditivo para disminuir la cantidad de agua de mezclado
		Mitigación	Reutilización del agua durante el lavado de herramientas
Generación de residuos sólidos	Extracción de materias primas	Corretivo	Relleno de los huecos con el material estéril de la extracción
		Corretivo	Conservación y reutilización de las capas de suelos para la fase rehabilitación
	Elaboración del concreto permeable	Preventiva	Utilizar el cemento a granel siempre que sea posible
		Preventiva	Reciclaje de envases PET del aditivo
	Ensayos del concreto en estado fresco	Preventiva	Eliminación en escombreras de los componentes no utilizados
	Ensayos del concreto en estado endurecido y agregados	Mitigación	Eliminación del concreto en escombreras
Erósión	Extracción de agregado y piedra caliza	Corretivo	Disponer los residuos de ensayos en escombreras
		Corretivo	Relleno de las zonas de extracción con material propio
Variación de la geomorfología	Extracción de agregado y piedra caliza	Corretivo	Favorecer el crecimiento de vegetación en los suelos estériles
		Corretivo	Realizar el proceso de restauración del suelo de forma simultánea con la extracción
		Corretivo	Eliminar el desmonte de forma secuencial y progresiva
Pérdida de biodiversidad	Extracción de agregado y piedra caliza	Corretivo	Formar escombreras no simétricas
		Corretivo	Reforestación con especies autóctonas
		Corretivo	Trasplantar arboles desarrollados en zonas cercanas
	Utilización de encofrados de madera	Preventiva	Conservación de la tierra vegetal y fértil
Afectación del habitat	Extracción de agregado y piedra caliza	Corretivo	Utilizar encofrados de materiales alternativos como plástico o metálicos
Daños a la salud	Obtención de materiales para elaborar el concreto	Corretivo	Implementación de un plan para la reubicación de especies en peligro de extinción
		Preventiva	Utilización de EPPs en todas las actividades.
		Preventiva	Limitar las emisiones de gases y ruido a lo señalado en el D.S N°003-2017-MINAM
	Elaboración del concreto permeable	Preventiva	Implementar un plan de seguridad y salud ocupacional
		Preventiva	Utilización de EPPs en todas las actividades.
	Realización de ensayos	Preventiva	Capacitarse para la utilización de equipos y herramientas
		Preventiva	Implementación de ensayos bajo la supervisión de personal calificado

7. Conclusiones

- La elaboración de concreto permeable genera un impacto positivo sobre el medio ambiente, dado que; permite la recuperación de mantos acuíferos, la reducción del fenómeno isla de calor y la eliminación de la escorrentía superficial generada durante las lluvias.
- El componente del concreto permeable que más impacto genera sobre los factores ambientales es el aditivo, pues, su fabricación comprende la elaboración de plástico PET y utilización de químicos contaminantes ambientales.
- Durante el desarrollo de proyecto, la realización de ensayos al concreto endurecido genera el mayor impacto negativo, pues, genera residuos sólidos que deben ser dispuestos adecuadamente para no deteriorar el medio físico.
- El aire es el factor ambiental más frágil, ya que, se ve afectado por la generación de gases de combustión, emisión de gases tóxicos y la producción de material pulverizado.
- La acción que mayor impacto produce es la emisión de gases debido a la combustión durante el funcionamiento de maquinaria, equipos y plantas procesadoras de agregado y cemento.

Anexo 37 Equipos de protección individual (EPI)

Ropa de Trabajo

La ropa de trabajo debe brindar protección contra sustancias que generen irritación o quemaduras en la piel como es el caso del aditivo SikaCem Plastificante y estará conformada por una camisa o polo manga larga, pantalón con tejido de alta densidad (jean) y bata blanca de laboratorio. [65]

Casco de seguridad

Debe brindar protección contra impactos y debe estar constituido por un casquete, un medio para absorber energía, un sistema de ventilación, ajustes y adaptabilidad para accesorios. Además, sus componentes deben ser de lenta combustión y resistir a la humedad. [65]

Calzado de seguridad

Cuando la elaboración del concreto se realice en laboratorios, el calzado estará conformado por botines punta de acero con suela antideslizable. Cuando se realice la colocación del concreto permeable en campo, el calzado estará conformado por botas de jebes con punta de acero para proteger el pie de la presencia del agua. [65]

Protectores de oídos

Se utilizan cuando el nivel del ruido supera los siguientes límites.

Tabla 87 Límites de exposición al ruido

Tiempo de exposición (Hora/Día)	Nivel de sonido (dBA)
8	85
4	88
2	91
1	94
1/2	97
1/4	100

Fuente: [65]

Protectores visuales

Para la elaboración del concreto permeable y la manipulación del aditivo SikaCem Plastificante se deben usar gafas de seguridad con guardas superiores, inferiores y laterales. Además, deben brindar protección contra el impactos y temperaturas extremas. [65]

Protectores Respiratorios

Cuando se manipula el cemento es necesario la utilización de mascarillas antipolvo que retengan el material particulado presente en el aire. La mascarilla será remplazada cuando impida el ritmo normal de respiración. [65]

Guantes de seguridad

Se usará de acuerdo al tipo de componente del concreto que se manipule:

- De cuero, cuando se manipulen componentes del concreto en general. [65]
- De lona, cuando se empleen materiales ásperos. [65]
- De caucho, cuando se manipule el concreto y el aditivo. [65]



Figura 208 Equipos de protección individual (EPI)

Nota: (1) Zapatos punta de acero, (2) Ropa de trabajo, (3) Casco, (4) Protección auditiva

Anexo 38: Ficha Técnica del aditivo



HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaCem® Plastificante

ADITIVO PLASTIFICANTE Y REDUCTOR DE AGUA PARA MORTEROS Y HORMIGONES

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaCem® Plastificante es un aditivo líquido para elaborar morteros y hormigones fluidos. Reduce la cantidad de agua en aproximadamente un 10 % incrementando la resistencia; NO CONTIENE CLORUROS, de modo que no corroe los metales.

USOS

SikaCem® Plastificante es recomendable para:

- Estructuras en general canales, diques, estructuras de fundación, columnas, vigas, tanques elementos prefabricados, losas, etc.)
- Cualquier tipo de estructura, cuando se desee aumentar las resistencias mecánicas o dar mayor fluidez al hormigón.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

En el hormigón fresco:

- Mejora la trabajabilidad del hormigón (plastifica), facilitando su colocación y compactación.
- Permite una reducción en la cantidad de agua de amasado de un 10 % aproximadamente, lo que se manifiesta en un aumento de las resistencias mecánicas del hormigón endurecido.
- Aumento de la cohesión interna en el hormigón fresco, tendiendo a evitar la segregación de los áridos.
- Disminuye la exudación.

En el hormigón endurecido:

- Posibilita un incremento de las resistencias mecánicas a la compresión del orden del 10 al 15%, contra testigo.
- Reduce la contracción.
- Aumenta la adherencia al acero.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Base Química	Mezcla de lignosulfonatos y polímeros orgánicos.
Empaques	<ul style="list-style-type: none"> • Envase PET x 4 L • Balde x 20 L
Apariencia / Color	Líquido marrón oscuro
Vida Útil	1 año
Condiciones de Almacenamiento	En sus envases de origen, bien cerrados y no deteriorados, en lugares frescos y secos, a temperaturas entre + 5°C y + 30°C. Protegido del congelamiento, del calor excesivo y de la radiación solar directa.
Densidad	1.20 +/- 0.01

Hoja De Datos Del Producto
SikaCem® Plastificante
Junio 2019, Versión 01.01
021302011000000829

INFORMACIÓN TÉCNICA

Guía de Vaciado de Concreto

Mezclar los materiales componentes del hormigón o mortero con parte del agua de mezclado, incorpore el contenido del DoyPack de SikaCem® Plastificante al pastón y complete con la menor cantidad de agua hasta lograr la fluidez requerida.

Para asegurar la homogeneidad del hormigón o mortero, se recomienda mezclar durante 3 minutos adicionales luego de incorporar todos los materiales componentes a la mezcladora.

Para mejorar el desempeño de morteros y hormigones se recomienda mantener la dosificación y proporción de los materiales componentes, Utilizar la menor cantidad de agua de mezclado hasta alcanzar la fluidez necesaria para la obra.

Cuidar que se cumplan las correctas condiciones de elaboración, colocación, compactación y curado.

La sobre-dosificación de SikaCem® Plastificante puede causar retardo de fragüe.

El desempeño de los aditivos pueden variar si se modifican los materiales componentes o sus cantidades.

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Dosificación Recomendada

- Como plastificante: 250 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg.
- Como superplastificante: hasta 500 mL por bolsa de cemento de 42.5 Kg.

LIMITACIONES

Temperatura Sustrato +5°C mín. / +30°C máx.
Temperatura Ambiente +5°C mín. / +30°C máx.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.



Anexo 39: Ficha Técnica del Cemento Tipo I Pacasmayo



CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.

Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04
Versión 03

Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150
Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO3	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.92	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm ² /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm ²)	26.1 (266)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm ²)	33.9 (346)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm ²)	42.3 (431)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	267	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-06-2017 al 31-06-2017.
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.
(*) Requisito opcional.

Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por :

Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.

Está totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.