

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



## **“DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”**

**Tesis para optar el título de Ing. Civil, que presentan:**

**Bach. Jorge Luis Chaiña Quispe**

**Bach. Yonny Alexander Villanueva Escobedo**

**AREQUIPA, PERÚ**

**2017**

## AGRADECIMIENTO

Agradecemos en primer lugar a Dios, porque todo es posible gracias a él, ya que nos fortalece e ilumina en nuestro diario caminar.

A la Universidad Católica de Santa María y su grupo de maestros que en su labor nos aconsejaron y guiaron para la realización de un profesional correcto y capaz.

A nuestras familias por el apoyo y la paciencia manifestada a lo largo de esta carrera, y a todos los que de una u otra manera colaboraron en el desarrollo de este trabajo de grado.



## DEDICATORIA

Mi principal agradecimiento a nuestro señor Jesucristo por su gran amor e infinita sabiduría quien ha estado siempre a mi lado dándome fuerzas para continuar mejorando cada día.

A mis queridos padres Luis Chaiña y Exaltación Quispe que en toda mi vida me apoyaron y nunca dejaron de creer en mí, porque supieron ayudarme incondicionalmente en la culminación de esta digna profesión.

A mi querido hermano Luis Alberto por su invaluable apoyo en todo momento y para que este trabajo sea una motivación y el punto de partida para alcanzar, mejorar y superar lo hecho hasta ahora

Finalmente a mis dos tesoros que son el motor de mi vida a mi pequeña hija Georgette y a mi esposa Mariel para agradecerte por el gran esfuerzo que haces por coexistir con nosotros sin perder los papeles o la razón.

ME ACUERDO EL TRABAJO QUE ME COSTO ESTA PROFESION CAER Y LEVANTARME PERO ESO YA PASO, EL TIEMPO ME HA IDO ENSEÑADO QUE SOLO FUERON LÁGRIMAS EN LA LLUVIA.

Atte. Jorge Luis Chaiña Quispe.

## AGRADECIMIENTO

Primeramente agradecer a Dios por darme la vida y darme la fuerza necesaria para seguir adelante. A mis profesores, padres, amigos y compañeros de trabajo, por acompañarme siempre cuando uno los necesita.

## DEDICATORIA

A mis padres Wenceslao Villanueva Vela y Domitila Escobedo de Villanueva, que me han dado la experiencia y en ella la capacidad por la cual superarme día a día, dando pasos firmes por este camino difícil y arduo. Gracias por ser como son, porque su presencia y consejos ayudaron a construir y forjar una persona de bien. Siempre les estaré eternamente agradecido por todo lo que me brindaron; y por ese amor incondicional de padres. Los amo y los amaré eternamente.

.... Con todo mi amor, a mi esposa Marta Cruz y mi hijo Fabricio Villanueva, quienes me apoyaron y dieron fuerza en todo momento, para poder culminar mi carrera y todos los logros alcanzados en lo personal y familiar.

Atte. Alexander Villanueva Escobedo.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓN .....	3
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
3. OBJETIVOS .....	4
4. HIPÓTESIS .....	5
5. METODOLOGÍA.....	5
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO .....	6
1.1 EL CONCRETO .....	6
1.1.1 FUNDAMENTOS DEL CONCRETO .....	8
1.1.2 CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	12
1.1.2.1 MEZCLADO .....	13
1.1.2.2 TRABAJABILIDAD .....	14
1.1.2.3 SANGRADO Y ASENTAMIENTO .....	16
1.1.2.4 CONSOLIDACIÓN .....	17
1.1.2.5 HIDRATACIÓN TIEMPO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO .....	18
1.1.3 CONCRETO ENDURECIDO .....	20
1.1.3.1 CURADO.....	20
1.1.3.2 VELOCIDAD DE SECADO DE CONCRETO .....	23
1.1.3.3 RESISTENCIA .....	24
1.1.3.4 PESO UNITARIO (DENSIDAD) .....	26
1.1.3.5 PERMEABILIDAD Y ESTANQUIDAD .....	28
1.1.3.6 DURABILIDAD .....	29
1.2 COMPONENTES DEL CONCRETO .....	29
1.2.1 CEMENTO PORTLAND.....	29
1.2.1.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO.....	31
1.2.1.2 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND .....	34
1.2.2 AGUA PARA EL CONCRETO .....	37
1.2.2.1 AGUA PARA LA MEZCLA .....	37
1.2.2.2 AGUA PARA EL CURADO.....	38
1.2.2.3 REQUISITOS DEL COMITÉ 318 DEL ACI .....	38
1.2.3 AGREGADOS .....	39

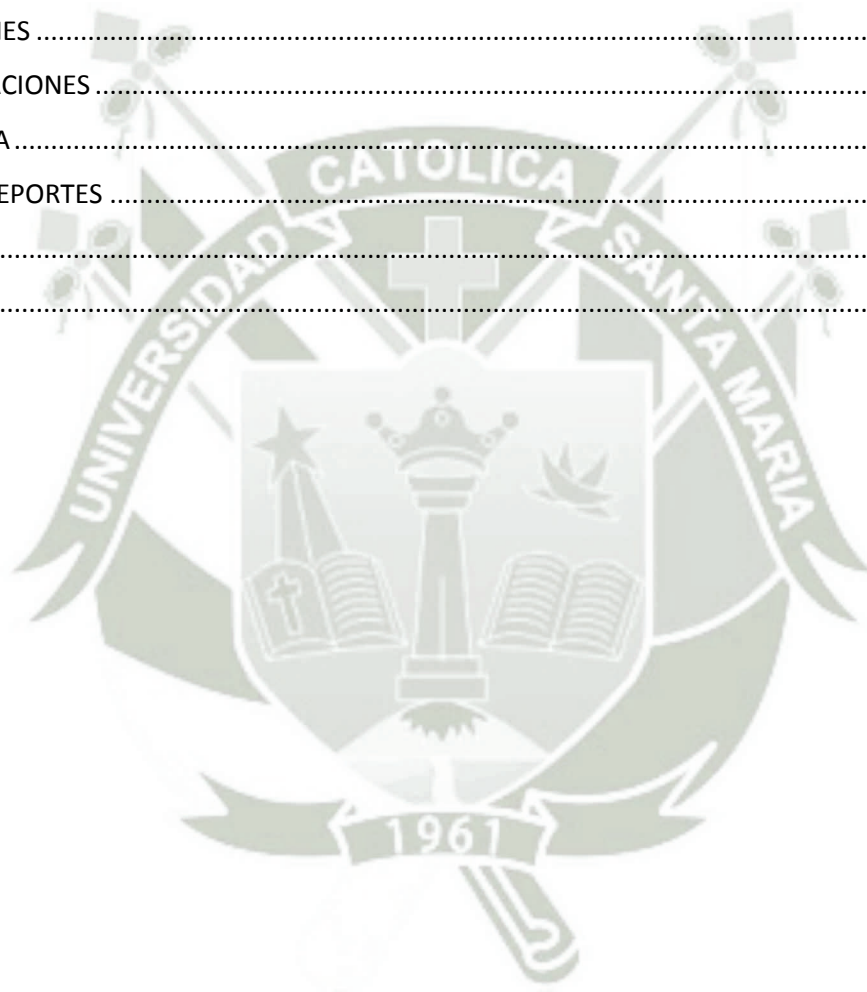
1.2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO.....	39
1.2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS .....	41
1.2.3.2.1. PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS .....	46
1.2.3.2.2. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS AGREGADOS .....	48
1.2.3.3. AGREGADO FINO .....	48
1.2.3.4 AGREGADO GRUESO .....	50
1.2.4 ADITIVOS PARA EL CONCRETO .....	52
1.2.4.1. CONDICIONES DE EMPLEO .....	53
1.2.4.2. RAZONES DE EMPLEO.....	53
1.2.4.3. CONSIDERACIONES EN EL EMPLEO DE ADITIVOS.....	55
1.2.4.4. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS .....	55
1.2.4.5. CLASIFICACIÓN .....	56
1.3 CONCRETO PERMEABLE .....	57
1.3.1 DEFINICIÓN.....	57
1.3.2 MARCO HISTÓRICO DEL CONCRETO PERMEABLE .....	58
1.3.3 IMPORTANCIA DEL CONCRETO PERMEABLE.....	60
1.3.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE .....	63
1.3.4.1 REVENIMIENTO 0 – 2 MM .....	63
1.3.4.2 PESO UNITARIO .....	64
1.3.4.3 TIEMPO DE FRAGUADO .....	65
1.3.4.4 POROSIDAD .....	65
1.3.4.5 PERMEABILIDAD .....	66
1.3.4.6 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN .....	67
1.3.4.7 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA O SPLIT TEST .....	68
1.3.4.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	69
1.3.4.9 CONTENIDO DE AIRE / UNIDAD DE PESO.....	70
1.3.4.10 DURABILIDAD .....	71
1.3.4.11 ABSORCIÓN ACÚSTICA .....	71
1.3.5 APLICACIONES DEL CONCRETO PERMEABLE.....	72
1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS .....	74
1.4.1. VENTAJAS. ....	74
1.4.2. DESVENTAJAS .....	77
1.4 PAVIMENTOS PERMEABLES.....	78

1.4.1 DRENAJE SOSTENIBLE.....	78
1.4.1.1 DESARROLLO SOSTENIBLE.....	78
1.4.1.2 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE.....	80
1.4.2 TÉCNICAS DE DRENAJE SOSTENIBLE.....	81
1.4.2.1 MEDIDAS PREVENTIVAS.....	85
1.4.2.1.1 LEGISLACIÓN.....	85
1.4.2.1.2 FORMACIÓN.....	86
1.4.2.1.3 INVERSIÓN.....	87
1.4.2.2 SISTEMAS DE INFILTRACIÓN.....	87
1.4.2.2.1 SUPERFICIES PERMEABLES.....	88
1.4.2.2.2 POZOS Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN.....	88
1.4.2.2.3 DEPOSITOS DE INFILTRACIÓN.....	88
1.4.2.3 SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y TRANSPORTE.....	88
1.4.2.3.1 DRENES FILTRANTES.....	89
1.4.2.3.2 CUNETAS VERDES.....	89
1.4.2.3.3 FRANJAS FILTRANTES.....	89
1.4.2.4 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.....	90
1.4.2.4.1 DEPOSITOS DE DETENCIÓN.....	90
1.4.2.4.2 ESTANQUES DE RETENCIÓN.....	90
1.4.2.4.3 HUMEDALES ARTIFICIALES.....	91
1.4.2.5 LA CADENA DE DRENAJE SOSTENIBLE.....	91
1.4.3 PAVIMENTOS PERMEABLES.....	92
1.4.3.1 DEFINICIÓN.....	92
1.4.3.2 CLASIFICACIÓN.....	93
1.4.3.3 TIPOS DE PAVIMENTOS PERMEABLES.....	95
1.4.3.3.1 PAVIMENTOS PERMEABLES DISCONTINUOS.....	95
1.4.3.3.2 PAVIMENTOS PERMEABLES CONTINUOS.....	96
1.4.4 SECCIONES PERMEABLES.....	98
CAPÍTULO II. PROPIEDADES DEL AGREGADO.....	100
2.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS.....	100
2.2 ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.....	102
2.2.1 MUESTREO DE LOS AGREGADOS.....	103
2.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD.....	108

2.2.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	111
2.2.4 MATERIAL MÁS FINO QUE PASA LA MALLA N° 200 .....	120
2.2.5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO.....	123
2.2.6 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO .....	129
2.2.7 PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO.....	137
CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE .....	146
3.1 CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLA.....	146
3.1.1 RELACIÓN AGUA-CEMENTO (a/c).....	147
3.1.2 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO (b/bo) .....	148
3.1.3 PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN .....	150
3.2 DISEÑOS DE MEZCLA DE LA INVESTIGACIÓN .....	151
CAPÍTULO IV: PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE .....	171
4.1 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	171
4.1.1 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA DEL CONCRETO.....	171
4.1.2 ASENTAMIENTO DE CONCRETO FRESCO CON EL CONO DE ABRAMS.....	174
4.1.3 REVENIMIENTO DE CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS INVERTIDO .....	178
4.1.4 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS .....	181
4.1.5 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO .....	191
4.2 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	197
4.2.1 Resistencia a la Compresión Simple.....	197
4.2.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA.....	219
4.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO .....	233
4.2.4 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES .....	242
4.2.5 PERMEABILIDAD .....	249
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	266
5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO .....	266
5.1.1 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA DEL CONCRETO.....	266
5.1.2 ASENTAMIENTO DE CONCRETO FRESCO CON EL CONO DE ABRAMS.....	268
5.1.3 REVENIMIENTO DE CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS INVERTIDO .....	271
5.1.4 CONTENIDO DE VACÍOS.....	272
5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	276
5.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE .....	276
5.2.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA.....	284

5.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO .....	288
5.2.4 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES .....	292
5.2.5 PERMEABILIDAD .....	296
5.3 CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS .....	300
CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE EN LOSA .....	302
6.1 INTRODUCCIÓN .....	302
6.2 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR .....	302
6.3 SELECCIÓN DE DIMENSIONES DE LOSA DEMOSTRATIVA .....	303
6.3.1 REALIZACIÓN DE PRUEBA “DESCRIPCIÓN VISUAL – MANUAL DE LOS SUELOS” (ASTMD – 2488).....	303
6.3.1.1 INTRODUCCIÓN .....	303
6.3.1.2 MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CLASIFICACIÓN .....	304
6.3.1.3 DATOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL .....	304
6.3.1.4 ENSAYO DE SACUDIMIENTO:.....	305
6.3.1.5 ENSAYO DE ROTURA:.....	306
6.3.1.6 ENSAYO DE PLASTICIDAD: .....	307
6.3.1.7 ENSAYO DE BRILLO: .....	308
6.3.2 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA DEMOSTRATIVA.....	308
6.3.2.1 SELECCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO.....	308
6.3.2.2 PREDIMENSIONAMIENTO.....	309
6.3.2.3 CÁLCULO DE MATERIALES .....	310
6.4 MATERIALES Y EQUIPOS.....	311
6.5 CONCEPTOS BÁSICOS .....	312
6.6 DESCRIPCIÓN DE PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA LOSA DEMOSTRATIVA .....	312
6.6.1 PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS, MATERIALES, LIMPIEZA Y DESMONTE DEL LUGAR. .....	312
6.6.2 TRAZO POR UNIDAD DE ÁREA .....	313
6.6.3 EXCAVACIÓN.....	313
6.6.4 RELLENO CON MATERIAL GRANULAR .....	314
6.6.5 ELABORACIÓN Y VACIADO DEL CONCRETO .....	315
6.6.6 CURADO DE CONCRETO .....	316
6.7 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA MEDIR LA TASA DE INFILTRACIÓN EN EL LUGAR DEL CONCRETO PERMEABLE (NORMA ASTM C 1701 -09) .....	317

6.7.1 ALCANCE .....	317
6.7.2 RESUMEN DE ENSAYO .....	317
6.7.3 SIGNIFICADO Y USO .....	317
6.7.4 INSTRUMENTOS .....	318
6.7.5 UBICACIÓN DE LA PRUEBA .....	319
6.7.6 PROCEDIMIENTO .....	320
6.7.7 CÁLCULO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN .....	322
6.3 MANTENIMIENTO.....	323
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS.....	325
CONCLUSIONES .....	327
RECOMENDACIONES .....	330
BIBLIOGRAFÍA.....	332
NORMAS Y REPORTE.....	333
ANEXOS .....	335
.....	335



## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1.1: Esquema de Integración del Concreto.....	6
Fig. 1.2: Componentes del concreto, cemento, agua, agregado grueso, agregado fino, ..... son combinados para formar el concreto. ....	9
Fig. 1.3: Variación de las proporciones usadas en concreto en volumen absoluto. ....	9
Fig. 1.4 Sección transversal del concreto endurecido. ....	10
Fig. 1.5: 10 cilindros de pasta de cemento con relaciones agua-cemento de 0.25 a 0.70. ....	11
Fig. 1.6: Mezclado de concreto. ....	14
Fig. 1.7 Efecto de la temperatura de colocación en el asentamiento en cono de Abrams..... de 2 concretos confeccionados con diferentes cementos.....	15
Fig. 1.8: Agua de exudación en la superficie del concreto recién colocado en la losa. ....	16
Fig. 1.9 Una buena consolidación es necesaria para lograrse un concreto denso y durable.....	18
Fig. 1.10: Tiempo de inicio y fin de fraguado para una mezcla ..... de concreto en diferentes temperaturas.....	20
Fig. 1.11: La resistencia del concreto aumenta con la edad, desde que haya adecuada..... humedad y temperatura favorable para la hidratación del cemento.....	21
Fig. 1.12: Efecto de la temperatura de colocación y de curado sobre el desarrollo de la resistencia..	21
Fig. 1.13: Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre. .	22
Fig. 1.14: Concreto puesto en moldes para su secado.....	23
Fig. 1.15: Desarrollo de la resistencia a compresión de varios concretos, .....	24
Fig. 1.16: Variación de resistencias típicas para relaciones agua-cemento de concreto de ..... cemento portland basadas en más de 100 diferentes mezclas de concreto.....	25
Fig. 1.17: Cemento Yura. ....	30
Fig. 1.18: Agua para el mezclado y curado del concreto.....	38
Fig. 1.19: Agregado fino. ....	49
Fig. 1.20: Agregado grueso.....	50
Fig. 1.21 Vigas de concreto permeable. ....	57
Fig. 1.22: Población urbana y rural del mundo, 1959-2030. ....	61
Fig. 1.23: Concreto con bajo revenimiento. ....	64
Fig. 1.24: Concreto en tiempo de fraguado. ....	65
Fig. 1.25: Porosidad del concreto.....	66
Fig. 1.26: Ensayo de permeabilidad del concreto. ....	67
Fig. 1.27: Probeta sometida a tensión indirecta. ....	69
Fig. 1.28: Probeta sometida a compresión.....	70
Fig. 1.29: Principales usos del concreto permeable.....	74
Fig. 1.30: Imagen de un pavimento tradicional y pavimento permeable. ....	77
Fig. 1.31: Representación gráfica de los aspectos que involucran el desarrollo sostenible. ....	80
Fig. 1.32: Adoquines con ranura rellenos con material drenante.....	96
Fig. 1.33: Adoquines con ranura rellenos con material libre. ....	96
Fig. 1.34: Mezcla bituminosa porosa.....	97
Fig. 1.35: Mezcla de concreto poroso. ....	98
Fig: 1.36: Descripción de los contenidos de las diferentes capas que conforman el pavimento permeable. ....	99

Fig. 2.1: Plano de ubicación de cantera La Poderosa (Arequipa- Perú) .....	101
Fig. 2.2: Equipo a utilizar en el muestreo de los agregados. ....	103
Fig. 2.3: Pila de material. ....	104
Fig. 2.4: Muestra de agregado grueso y fino de la cantera Poderosa. ....	106
Fig. 2.5: Muestra de agregado grueso de cantera Poderosa. ....	106
Fig. 2.6: Delimitación y trazo de diámetro perpendicular. ....	106
Fig. 2.7: Reducción del agregado mediante el cuarteo. ....	107
Fig. 2.8: Separación de agregados en cuatro partes. ....	107
Fig. 2.9: Selección de muestras representativas. ....	107
Fig. 2.10: Material seleccionado para la granulometría. ....	112
Fig. 2.11: Material para realizar el ensayo de la granulometría. ....	112
Fig. 2.12: Equipo (tamizadora). ....	113
Fig. 2.13: Pesos retenidos del ensayo de granulometría. ....	113
Fig. 2.14: Material representativas seleccionado para la granulometría. ....	116
Fig. 2.15: Equipo (tamizadora) ....	116
Fig. 2.17: Pesos retenidos del ensayo de granulometría ....	117
Fig. 2.18: Material representativo seleccionado para el ensayo de la malla # 200. ....	121
Fig. 2.19: Se coloca las muestras al horno para realizar el ensayo de la malla # 200. ....	121
Fig. 2.20: Seleccione el material y se satura por 24 horas. ....	125
Fig. 2.21: Tamizar el material por la malla N° 4. ....	125
Fig. 2.22: Se pesa la muestra saturado con superficie seca (S.S.S). ....	126
Fig. 2.23: Se pesa la canastilla completamente sumergida en el depósito de agua. ....	126
Fig. 2.24: Se la muestra saturada en la canastilla y se sumerge. ....	126
Fig. 2.25: Sumergir en agua el agregado por 24 horas. ....	131
Fig. 2.26: Colocar el agregado en bandeja para hacer secar al aire. ....	131
Fig. 2.27: Compactar el material en molde con 25 golpes/capa. ....	132
Fig. 2.28: Cuando existe humedad libre, el cono conserva su forma. ....	132
Fig. 2.29: El material alcanza la condición (SSS). ....	132
Fig. 2.30: Se pesa 500gr. De agregado (S.S.S.) ....	133
Fig. 2.31: Colocar los 500gr. en una probeta graduada de peso conocido. ....	133
Fig. 2.32: Adicionarle un poco de agua hasta saturar la muestra por completo. ....	134
Fig. 2.33: Se coloca en un recipiente y se pone al horno por 24 horas y se toma el peso seco. ....	134
Fig. 2.34: Equipo completo a usar. ....	139
Fig. 2.35: Recipiente metálico para agregado grueso y fino. ....	140
Fig. 2.36: Se llena la tercera parte del recipiente de medida. ....	140
Fig. 2.37: Se apisona la capa de agregado con la varilla 5/8", compactando. ....	141
Fig. 2.38: Con el martillo de goma dar 12 golpes al recipiente metálico, para el PUC. ....	141
Fig. 2.39: Enrasar con regla metálica hasta el nivel del borde superior. ....	141
Fig. 2.40: Enrasar y limpiar los bordes del recipiente. ....	142
Fig. 2.41: Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido. ....	142
Fig. 2.42: Se apisona la capa de agregado con la varilla 5/8", compactando. ....	143
Fig. 2.43: Con el martillo de goma dar 12 golpes al recipiente metálico, para el PUC. ....	143
Fig. 2.44: Se enrasa y se pesa en la balanza. ....	143
Fig. 3.1: Con poca agua. ....	148

Fig. 3.3: Con demasiada agua.....	148
Fig. 3.4: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días, para el tamaño de agregado N° 67 y N° 8. ....	150
Fig. 3.5: Relación del contenido de vacíos y el contenido de pasta, para agregado N° 67 y N° 8.....	151
Fig. 4.1: Introducir el termómetro y esperar por lo menos 2 minutos. ....	172
Fig. 4.2: Llenar el concreto en 3 capas de aproximadamente 1/3 del volumen del cono cada una... ..	175
Fig. 4.3: Compactar con la varilla cada capa con 25 golpes. Distribuirlos en toda el área. ....	175
Fig. 4.5: Medir la distancia entre la altura del molde.....	176
Fig. 4.6: Medir la distancia entre la altura del molde (el asentamiento mejora con aditivo).....	176
Fig. 4.7: El asentamiento se mide en forma horizontal.....	179
Fig. 4.8: El asentamiento se mide en forma horizontal.....	179
Fig.4.9: Compactar con el martillo Proctor. Cada capa será compactada con 20 golpes. ....	183
Fig. 4.10: Limpiar completamente y proceder a determinar el peso.....	183
Fig. 4.11. Echar agua en la llave de purga. ....	183
Fig. 4.12: Bombear para que ingrese aire dentro de la cámara.....	184
Fig. 4.13: Presionar el percutor de aire y dar golpes con el martillo de goma. ....	184
Fig. 4.14: Leer el porcentaje de aire atrapado en la olla Washington. ....	184
Fig. 4.15: Moldes cilíndricos de 10 x 20 cm.....	193
Fig. 4.16: Moldes prismáticos de 15 x 15 x 60 cm.....	193
Fig. 4.17: Colocar el concreto en 2 capas, cada capa se chucea 25 veces en forma de espiral. ....	194
Fig. 4.18: Se golpea ligeramente las paredes del molde de 10 a 15 veces con el martillo de goma y en la última capa se procede a enrasar.....	194
Fig. 4.19: En Vigas se colocara el concreto.....	195
Fig. 4.21: Después de haber compactado, se procederá a enrasar al tope del molde usando la barra compactadora o una plancha de albañilería. ....	195
Fig. 4.22: Después de ser desmoldadas, se procederá a identificarlas y marcarlas. ....	196
Fig. 4.23: Se colocara en la poza de curado con una temperatura de 23 °C +/- 2 °C.....	196
Fig. 4.24: Las probetas serán retiradas de la poza de curado, según el día de ensayo.....	198
Fig. 4.25: Se colocara en la poza de curado con una temperatura de 23 °C +/- 2 °C.....	199
Fig. 4.26: Colocar la probeta en los platos de retención y accionar la palanca de la prensa.....	199
Fig. 4.27: Aplicar carga en forma continua y uniforme.....	200
Fig. 4.28: Colocar una tablilla centrada, apoyada en el eje de la placa inferior y otra en la parte superior. ....	220
Fig. 4.29: Aplicar aproximadamente un 5% de la carga de rotura prevista, verificando que la probeta se mantiene centrada y alineada. ....	220
Fig. 4.30: Maquina de ensayo, para vigas a flexión.....	234
Fig. 4.31: Las Vigas serán retiradas de la poza de curado. ....	234
Fig. 4.32: La distancia entre las líneas de apoyo y los extremos de la viga debe ser igual o mayor a 2,5 cm.....	235
Fig. 4.33: Aplicar un 5% de la carga prevista de rotura verificando que los contactos cumplen las tolerancias. ....	235
Fig. 4.34: Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a 300 seg.....	235
Fig. 4.35: Cortar las probetas de 10 x20 cm. En partes iguales (10 x 10 cm.).....	243
Fig. 4.36: Lavar bien las muestras y dejarlas secar en el horno por 24 horas.....	244

Fig. 4.37: Máquina de Los Ángeles.....	244
Fig. 4.38: Se coloca la muestra y la carga abrasiva, en la máquina de Los Ángeles.....	244
Fig. 4.39: Se descarga el material del cilindro.....	245
Fig. 4.40: Se procederá a pesar el material retino por el tamiz # 12.....	245
Fig. 4.41: Permeámetro de carga variable.....	250
Fig. 4.42: Cortar las probetas probetas de 10 cm de diámetro x 15 cm de alto.....	251
Fig. 4.43: Prepara la muestra a ser ensayada.....	251
Fig. 4.44: Se procede a colocar la muestra en el permeámetro de carga variable.....	252
Fig. 4.45: Saturar la muestra y establecer el flujo establecido a los 30 cm de columna de agua.....	252
Fig. 4.46: Tomar la altura de columna de agua h1.....	253
Fig. 5.1a: Resultados obtenidos de la Determinación de la temperatura del concreto permeable... 266	266
Fig. 5.1: Resultados obtenidos de la temperatura, límites máximos y límites mínimos de aceptabilidad de la temperatura del concreto.....	267
Fig. 5.2: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP7-S y PP13-E.....	268
Fig. 5.3: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP8-S y PP14-E.....	268
Fig. 5.4: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP9-S y PP15-E.....	269
Fig. 5.5: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP10-S y PP16-E.....	269
Fig. 5.6: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP11-S y PP17-E.....	270
Fig. 5.7: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP12-S y PP18-E.....	270
Fig. 5.8: Resultados obtenidos del revenimiento con el cono de abrams invertido Slump - Tiempo. 271	271
Fig. 5.9: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP7-S y PP13-E.....	272
Fig. 5.10: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP8-S y PP14-E.....	272
Fig. 5.11: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP9-S y PP15-E.....	273
Fig. 5.12: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP10-S y PP16-E.....	273
Fig. 5.13: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP11-S y PP17-E.....	274
Fig. 5.14: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP12-S y PP18-E.....	274
Fig. 5.15: Resultados obtenidos de la comparación del contenido de vacíos.....	275
Fig. 5.16: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP1-S, Sin finos.....	276
Fig. 5.17: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP2-S, Sin finos.....	276
Fig. 5.18: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP3-S, Sin finos.....	277
Fig. 5.19: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP4-S, Sin finos.....	277
Fig. 5.20: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP5-S, Sin finos.....	278
Fig. 5.21: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP6-S, Sin finos.....	278
Fig. 5.22: Resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión simple – Sin Finos.....	279
Fig. 5.23: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP7-S y PP13-E.....	280
Fig. 5.24: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP8-S y PP14-E.....	280

Fig. 5.25: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP9-S y PP15-E. ....	281
Fig. 5.26: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP10-S y PP16-E. ....	281
Fig. 5.27: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP9-S y PP15-E. ....	282
Fig. 5.28: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP12-S y PP18-E. ....	282
Fig. 5.29: Resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión simple – Con Finos. ....	283
Fig. 5.30: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP7-S y PP13-E. ....	284
Fig. 5.31: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP8-S y PP14-E. ....	284
Fig. 5.32: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP9-S y PP15-E. ....	285
Fig. 5.33: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP10-S y PP16-E. ....	285
Fig. 5.34: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta. Diseño PP11-S y PP17-E. ....	286
Fig. 5.35: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP12-S y PP18-E. ....	286
Fig. 5.36: Resultados obtenidos de la Resistencia a la Tracción Indirecta. ....	287
Fig. 5.37: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP7-S y PP13-E. ....	288
Fig. 5.38: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP8-S y PP14-E. ....	288
Fig. 5.39: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP9-S y PP15-E. ....	289
Fig. 5.40: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP10-S y PP16-E. ....	289
Fig. 5.41: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP11-S y PP17-E. ....	290
Fig. 5.42: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP12-S y PP18-E. ....	290
Fig. 5.43: Resultados obtenidos de la Resistencia a la Flexión del Concreto. ....	291
Fig. 5.44: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP7-S y PP13-E. ....	292
Fig. 5.45: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP8-S y PP14-E. ....	292
Fig. 5.46: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP9-S y PP15-E. ....	293
Fig. 5.47: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP10-S y PP16-E. ....	293
Fig. 5.48: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP9-S y PP15-E. ....	294
Fig. 5.49: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP10-S y PP16-E. ....	294
Fig. 5.50: Resultados obtenidos de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. ....	295
Fig. 5.51: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP7-S y PP13-E. ....	296

Fig. 5.52: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP10-S y PP16-E. ....	296
Fig. 5.53: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP8-S y PP14-E. ....	297
Fig. 5.54: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP11-S y PP17-E. ....	297
Fig. 5.55: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP9-S y PP15-E. ....	298
Fig. 5.56: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP12-S y PP18-E. ....	298
Fig. 5.57: Resultados obtenidos de la Permeabilidad. ....	299
Fig. 6.1: Ubicación del terreno. ....	303
Fig. 6.2: Terreno para la realización de losa de prueba de concreto permeable.....	304
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488.....	305
Fig. 6.3: Sacudimiento de muestra húmeda.....	305
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488.....	306
Fig. 6.4: Ensayo de rotura.....	306
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488.....	307
Fig. 6.5: Ensayo de plasticidad.....	307
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488.....	308
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488.....	308
Fig. 6.6: Corte de perfil.....	310
Fig. 6.7: Trazo de terreno.....	313
Fig. 6.8: Excavación de terreno.....	314
Fig. 6.9: Encofrado de terreno.....	314
Fig. 6.10: Relleno con material granular.....	315
Fig. 6.11: Vaciado de la losa.....	316
losa.....	316
Fig. 6.12: Curado de la losa.....	316
Fig. 6.13: Esquema de dimensiones del anillo de infiltración.....	319
Fig. 6.14: Limite interior del anillo de infiltración.....	319
Fig. 6.15: Instalación del anillo de infiltración.....	320
Fig. 6.16: Pre - humectación.....	321
Fig. 6.17: Prueba de infiltración.....	322

## ÍNDICE DE TABLAS

3.1 OBJETIVO GENERAL .....	4
3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	4
5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN. ....	5
Tabla 1-1: promedio de las dimensiones observadas para el concreto fresco en.....	27
unidades del SI y unidades en Plg-Lb. ....	27
Tabla 1.2: Clasificación de pavimentos permeables. ....	94
Tabla 2.1: Norma, American Society for Testing and Materials – ASTM. Norma Técnica Peruana - NTP. ....	102
Tabla 2.2: Pesos Recomendados según agregados. ....	105
Tabla 2.3: Cálculo del Contenido de humedad - Piedra Huso 67 (3/4"). ....	109
Tabla2.4: Cálculo del Contenido de humedad – Arena Gruesa.....	110
Tabla 2.5: Clasificación requerida para el Agregado Grueso. ....	114
Tabla 2.6: Análisis Granulométrico del Agregado Fino. ....	115
Tabla 2.7: Cálculo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso. ....	118
Tabla 2.8: Cálculo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino.....	119
Tabla 2.9: Cálculo del Material más fino que pasa la malla N° 200 – Piedra huso 67 (3/4"). ....	122
Tabla 2.10: Cálculo de Material más fino que pasa la malla N° 200 – Arena Gruesa. ....	123
Tabla 2.11: Cálculo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso - Piedra huso 67 (3/4"). ...	128
Tabla 2.12: Cálculo de Peso Específico y Absorción de la Arena Gruesa. ....	136
Tabla 2.13: Cálculo de Peso unitario Suelto y Compactado – Piedra huso 67 (3/4"). ....	144
Tabla 2.14: Cálculo de Peso unitario Suelto y Compactado – Arena Gruesa. ....	145
Tabla 3.1: Rangos típicos de proporciones de material en concreto permeable. ....	146
Tabla 3.2: Valores efectivos de $b/b_0$ . ....	149
Tabla 3.3: Resumen de las características de los diseños de mezclas utilizados. ....	152
Tabla 3.4: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP1-S. ....	153
Tabla 3.5: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP2-S. ....	154
Tabla 3.6: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP3-S. ....	155
Tabla 3.7: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP4-S. ....	156
Tabla 3.8: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP5-S. ....	157
.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Tabla 3.9: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP6-S. ....	158
Tabla 3.10: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP7-S. ....	159

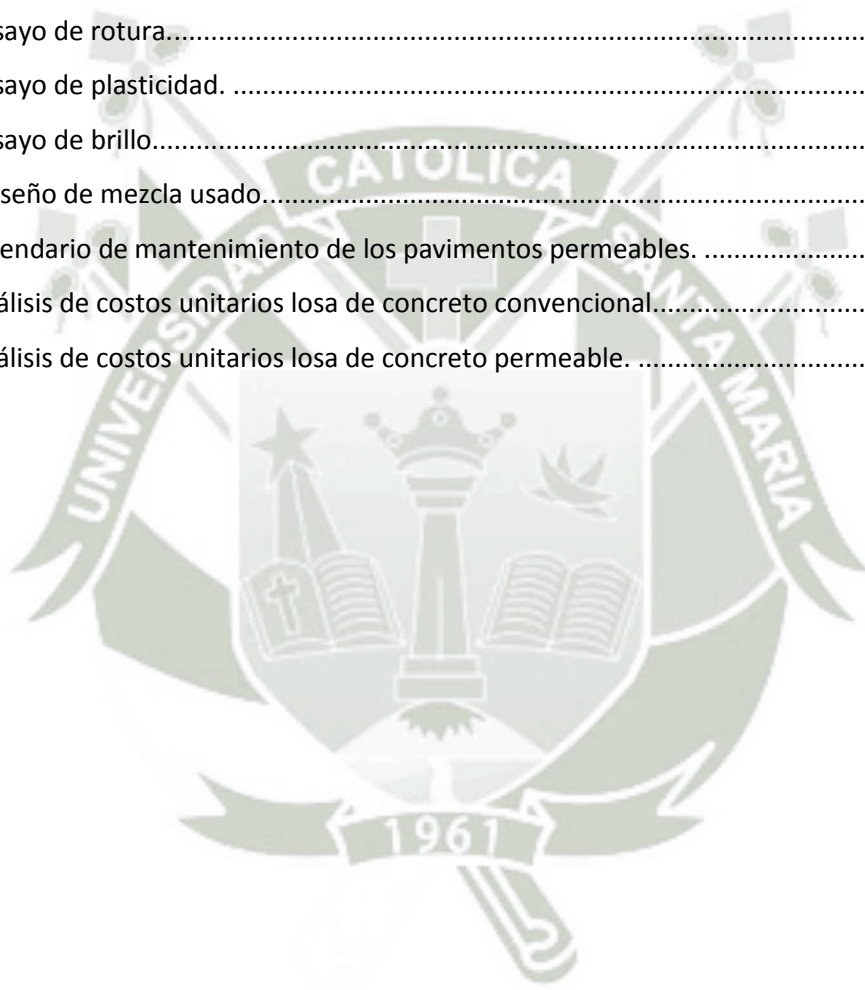
Tabla 3.11: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP8-S. ....	160
Tabla 3.12: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP9-S. ....	161
Tabla 3.13: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP10-S. ....	162
Tabla 3.14: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP11-S. ....	163
Tabla 3.15: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP12-S. ....	164
Tabla 3.16: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP13-E. ....	165
Tabla 3.17: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP14-E. ....	166
Tabla 3.18: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP15-E. ....	167
Tabla 3.19: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP16-E. ....	168
Tabla 3.20: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP17-E. ....	169
Tabla 3.21: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP18-E. ....	170
Tabla 4.1: Criterios de aceptación del Concreto. ....	172
Tabla 4.2: Cálculo de la Temperatura del Concreto Permeable. ....	173
Tabla 4.3: Cálculo del Asentamiento del Concreto fresco. ....	177
Tabla 4.4: Cálculo del Asentamiento Cono Invertido del Concreto fresco. ....	180
Tabla 4.5: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP1-S – PP3-S. ....	185
Tabla 4.6: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP4-S – PP6-S. ....	186
Tabla 4.7: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP7-S – PP9-S. ....	187
Tabla 4.8: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP10-S – PP12-S. ....	188
Tabla 4.9: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP13-E – PP15-E. ....	189
Tabla 4.10: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP16-E – PP18-E. ....	190
Tabla 4.11: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP1-S. ....	201
Tabla 4.12: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP2-S. ....	202
Tabla 4.13: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP3-S. ....	203
Tabla 4.14: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP4-S. ....	204
Tabla 4.15: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP5-S. ....	205
.....	206
Tabla 4.16: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP6-S. ....	206
Tabla 4.17: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP7-S. ....	207
Tabla 4.18: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP8-S. ....	208
Tabla 4.19: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP9-S. ....	209
Tabla 4.20: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP10-S. ....	210
Tabla 4.21: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP11-S. ....	211

Tabla 4.22: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP12-S. ....	212
Tabla 4.23: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP13-E. ....	213
Tabla 4.24: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP14-E. ....	214
Tabla 4.25: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP15-E. ....	215
Tabla 4.26: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP16-E. ....	216
Tabla 4.27: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP17-E. ....	217
Tabla 4.28: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP18-E. ....	218
Tabla 4.29: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP7-S. ....	221
Tabla 4.30: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP8-S. ....	222
Tabla 4.31: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP9-S. ....	223
Tabla 4.32: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP10-S. ....	224
Tabla 4.33: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP11-S. ....	225
Tabla 4.34: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP12-S. ....	226
Tabla 4.35: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP13-E. ....	227
Tabla 4.36: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP14-E. ....	228
Tabla 4.37: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP15-E. ....	229
Tabla 4.38: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP16-E. ....	230
Tabla 4.39: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP17-E. ....	231
Tabla 4.40: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP18-E. ....	232
Tabla 4.41: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP7-S – PP8-S. ....	236
Tabla 4.42: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP9-S – PP10-S. ....	237
Tabla 4.43: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP11-S – PP12-S. ....	238
Tabla 4.44: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP13-E – PP14-E. ....	239
Tabla 4.46: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP17-E – PP18-E. ....	241
Tabla 4.47: Cálculo de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto PP7-S – PP10-S. ....	246
Tabla 4.48: Cálculo de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto PP11-S – PP14-E. ....	247
Tabla 4.49: Cálculo de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto PP15-E – PP18-E. ....	248
Tabla 4.50: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP7-S. ....	254
Tabla 4.51: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP8-S. ....	255
Tabla 4.52: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP9-S. ....	256
Tabla 4.53: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP10-S. ....	257
Tabla 4.54: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP11-S. ....	258
Tabla 4.55: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP12-S. ....	259

Tabla 4.56: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP13-E. ....	260
Tabla 4.57: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP14-E. ....	261
Tabla 4.58: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP15-E. ....	262
Tabla 4.59: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP16-E. ....	263
Tabla 4.60: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP17-E. ....	264
Tabla 4.61: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP18-E. ....	265
Tabla 5.1: Resultados obtenidos de la temperatura del concreto permeable. ....	267
Tabla 5.2: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP7-S y PP13-E.....	268
Tabla 5.3: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP8-S y PP14-E.....	268
Tabla 5.4: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, PP9-S y PP15-E. ....	269
Tabla 5.5: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP10-S y PP16-E. ....	269
Tabla 5.6: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP11-S y PP17-E. ....	270
Tabla 5.7: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP12-S y PP18-E. ....	270
Tabla 5.8: Resultados obtenidos Revenimiento de concreto con el cono de abrams invertido.....	271
Tabla 5.9: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP7-S y PP13-E. ....	272
Tabla 5.10: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP8-S y PP14-E. ....	272
Tabla 5.11: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP9-S y PP15-E. ....	273
Tabla 5.12: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP10-S y PP16-E. ....	273
Tabla 5.13: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP11-S y PP17-E. ....	274
Tabla 5.14: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP12-S y PP18-E. ....	274
Tabla 5.15: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable.....	275
Tabla 5.16: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP1-S, Sin finos. ....	276
Tabla 5.17: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP2-S, Sin finos. ....	276
Tabla 5.18: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP3-S, Sin finos. ....	277
Tabla 5.19: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP4-S, Sin finos. ....	277
Tabla 5.20: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP5-S, Sin finos. ....	278
Tabla 5.21: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP6-S, Sin finos. ....	278
Tabla 5.22: Resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión simple – Sin Finos. ....	279
Tabla 5.23: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP7-S y PP13-E. ....	280

Tabla 5.24: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP8-S y PP14-E. ....	280
Tabla 5.25: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP9-S y PP15-E. ....	281
Tabla 5.26: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP10-S y PP16-E. ....	281
Tabla 5.27: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP9-S y PP15-E. ....	282
Tabla 5.28: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP12-S y PP18-E. ....	282
Tabla 5.29: Resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión simple – Con Finos. ....	283
Tabla 5.30: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP7-S y PP13-E. ....	284
Tabla 5.31: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP8-S y PP14-E. ....	284
Tabla 5.32: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP9-S y PP15-E. ....	285
Tabla 5.33: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP10-S y PP16-E. ....	285
Tabla 5.34: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP11-S y PP17-E. ....	286
Tabla 5.35: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP12-S y PP18-E. ....	286
Tabla 5.36: Resultados obtenidos de la Resistencia a la Tracción Indirecta. ....	287
Tabla 5.37: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP7-S y PP13-E. ....	288
Tabla 5.38: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP8-S y PP14-E. ....	288
Tabla 5.39: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP9-S y PP15-E. ....	289
Tabla 5.40: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP10-S y PP16-E. ....	289
Tabla 5.41: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP11-S y PP17-E. ....	290
Tabla 5.42: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP12-S y PP18-E. ....	290
Tabla 5.43: Resultados obtenidos de la Resistencia a la Flexión del Concreto. ....	291
Tabla 5.44: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP7-S y PP13-E. .....	292
Tabla 5.45: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP8-S y PP14-E. .....	292
Tabla 5.46: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP9-S y PP15-E. .....	293
Tabla 5.47: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP10-S y PP16-E. .....	293
Tabla 5.48: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP9-S y PP15-E. .....	294
Tabla 5.49: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP10-S y PP16-E. .....	294
Tabla 5.50: Resultados obtenidos de la resistencia al desgaste. ....	295
Tabla 5.51: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP7-S y PP13-E. ....	296
Tabla 5.52: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP10-S y PP16-E. ....	296

Tabla 5.53: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP8-S y PP14-E.....	297
Tabla 5.54: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP11-S y PP17-E.....	297
Tabla 5.55: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP9-S y PP15-E.....	298
Tabla 5.56: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP12-S y PP18-E.....	298
Tabla 5.57: Resultados obtenidos de la Permeabilidad. ....	299
Tabla 5.58: Cuadro Resumen de todos los Ensayos Realizados en la Investigación. ....	300
Tabla 5.59: Cuadro Resumen de Calificación de los diseños según su Calidad.....	301
Tabla 6.1: Ensayo de color.....	305
Tabla 6.2: Ensayo de sacudimiento. ....	306
Tabla 6.3: Ensayo de rotura.....	307
Tabla 6.4: Ensayo de plasticidad. ....	308
Tabla 6.5: Ensayo de brillo.....	308
TABLA 6.6: Diseño de mezcla usado.....	311
Tabla 6.7: Calendario de mantenimiento de los pavimentos permeables. ....	324
Tabla 7.1: Análisis de costos unitarios losa de concreto convencional.....	325
Tabla 7.2: Análisis de costos unitarios losa de concreto permeable. ....	326



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación lleva como título **“DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”**, la investigación tiene como objetivo experimentar con diferentes diseños de mezcla para así comparar resultados y aplicarlos en pavimentos rígidos.

Este documento presenta los resultados de una investigación realizada en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María, Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente, Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

Se elaboraron 18 diseños de mezclas utilizando cemento portland tipo IP, agua potable, agregado de la cantera la Poderosa de la ciudad de Arequipa, aditivos de las marcas SIKA Viscocrete 1110 y EUCO Neoplast 8500 HP, en distintas combinaciones y dosificaciones.

Seguidamente, para cada diseño de mezcla se prepararon cilindros y vigas de prueba, para posteriormente realizar ensayos de resistencia a compresión, flexión, tensión indirecta, desgaste y permeabilidad, para así determinar de esta manera el diseño de mezcla con el mejor comportamiento ante estos esfuerzos.

Luego se analizaron los diferentes resultados obtenidos estadísticamente y se escogió el diseño de mezcla óptimo que cumpla con los requisitos requeridos para ser utilizado en el diseño de pavimento rígido permeable.

Finalmente, se procedió a hacer el diseño de una losa demostrativa usando los parámetros necesarios del terreno y las condiciones de tráfico que soportará.

En suma, la investigación expresa el diseño de mezcla del concreto permeable, las propiedades y características del mismo, las consideraciones que se deben de tomar en cuenta para su uso en pavimentos permeables en la ciudad de Arequipa.

Palabras Claves: Concreto, permeable, pavimentos.

## **ABSTRACT**

The present research work is entitled "PERMEABLE CONCRETE DESIGN, FOR RIGID PAVEMENTS, USING STONE HUSO 67 AND THICK SAND OF THE CANTERA LA PODEROSA, FOR THE CITY OF AREQUIPA", the research aims to experiment with different mix designs for Thus comparing results and applying them on rigid pavements.

This document presents the results of a research carried out in the civil engineering laboratory of the Catholic University of Santa Maria, Faculty of Architecture and Civil Engineering and the Environment, Professional School of Civil Engineering.

18 mix designs were made using portland cement type IP, potable water, aggregate of the quarry la Poderosa of the city of Arequipa, additives of the brands SIKA Viscocrete 1110 and EUCO Neoplast 8500 HP, in different combinations and dosages.

Then, for each mixing design, cylinders and test beams were prepared for further tests of resistance to compression, bending, indirect stress, wear and permeability, in order to determine in this way the mixing design with the best behavior in the face of these efforts.

Then the different results obtained were statistically analyzed and the optimum mix design was chosen that meets the requirements required to be used in the permeable rigid pavement design.

Finally, we proceeded to design a demonstrative slab using the necessary parameters of the terrain and the traffic conditions that it would support.

In summary, the research expresses the mixture design of the permeable concrete, the properties and characteristics of the same, the considerations that must be taken into account for its use in permeable pavements in the city of Arequipa.

Key words: Permeable, concrete, pavements.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El pavimento de concreto permeable corresponde a una de las alternativas factibles al concreto convencional.

El concreto permeable es un concreto de desempeño, elaborado a base de un diseño de mezcla que nos indica las cantidades de cemento portland tipo IP, agregado grueso, agregado fino, agua y aditivos para elaborar una mezcla de concreto permeable la cual contiene poca o ninguna cantidad de agregado fino, en consecuencia una característica es el contenido de vacíos.

El intervalo en el que se encuentra el contenido de vacíos es de 18% - 35%, logrando así una estructura que otorga ventajas de funcionalidad como son la resistencia y permeabilidad.

Una de las primordiales características del concreto permeable es su capacidad para infiltrar el agua de lluvia y escorrentías, ya que según el comité American Concrete Institute (ACI) 522 R, su contenido de vacíos varía entre 81 a 730 L/min/m<sup>2</sup> y su resistencia de 2.8 a 28 MPa, al igual que menciona el rango del agregado grueso que se puede usar menor a un tercio del espesor de la capa de pavimento.

Las investigaciones sobre este tema en nuestro país son relativamente nuevas, ya que recientemente se han iniciado estudios a nivel mundial. En la actualidad en la ciudad de Arequipa, se cuenta con dos estudios acerca del tema.

Este trabajo de investigación describe algunos antecedentes para el uso del pavimento permeable, propuestas de diseño, proceso constructivo y evaluación del pavimento permeable rígido.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las superficies de los pavimentos en nuestra región reciben grandes volúmenes de aguas de lluvia que interrumpen el ciclo del agua y también terminan dañando la superficie del pavimento y desperdiciando el agua al ser dirigida directamente a los alcantarillados tratándola como agua residual.

Debido a los cambios climáticos y aumento de las precipitaciones en nuestra zona, ha traído como consecuencia daños en las superficies de concretos convencionales que usamos y todo esto después lleva a una reparación que implica un costo adicional de las Obras.

Es por ello que ante la falta de concretos alternativos a los convencionales, nos planteamos con la investigación y experimentación del concreto permeable. Esto en el marco de desarrollo sostenible y construcción sostenible, para su uso en pavimentos rígidos.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y elaborar un concreto permeable que sea capaz de ser utilizado como pavimento rígido, comparando la inclusión o no de agregado fino en la mezcla.

#### **3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO**

- Determinar las propiedades físicas de los agregados para la elaboración de un concreto permeable.
- Determinar las propiedades mecánicas (compresión y flexión) del concreto permeable.
- Determinar las propiedades hidráulicas (capacidad de filtración) del concreto permeable.
- Determinar la viabilidad económica de la aplicación del concreto permeable.
- Obtener las características, ventajas, eficiencia, trabajabilidad, costos, y resistencias logradas con diseños hechos en la ciudad de Arequipa.

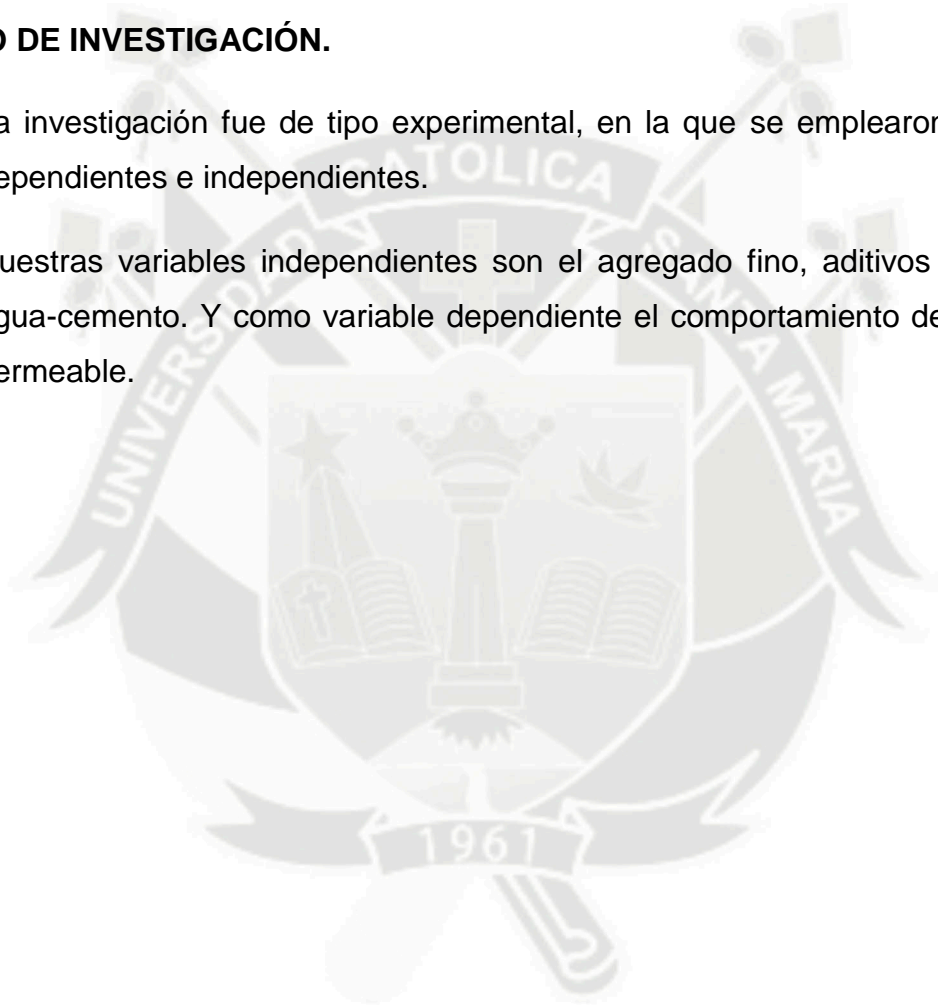
## 4. HIPÓTESIS

- El pavimento permeable es una solución eficiente para la gestión de aguas de lluvia en la ciudad de Arequipa.

## 5. METODOLOGÍA.

### 5.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN.

- La investigación fue de tipo experimental, en la que se emplearon variables dependientes e independientes.
- Nuestras variables independientes son el agregado fino, aditivos y relación agua-cemento. Y como variable dependiente el comportamiento del concreto permeable.



# CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

## 1.1 EL CONCRETO

El concreto es un compuesto artificial de uso común en la construcción, y se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales que son: el cemento, el agua, los agregados, y simultáneamente se encuentra un cuarto elemento que es el aire que queda atrapado entre las partículas de los componentes ya mencionados, además en ciertas circunstancias se agrega un cuarto componente que es denominado aditivo, que modifica ciertas propiedades del concreto.

En el siguiente gráfico se presenta la manera de cómo se combinan los materiales que componen en concreto.

(Pasquel. E, 2000)

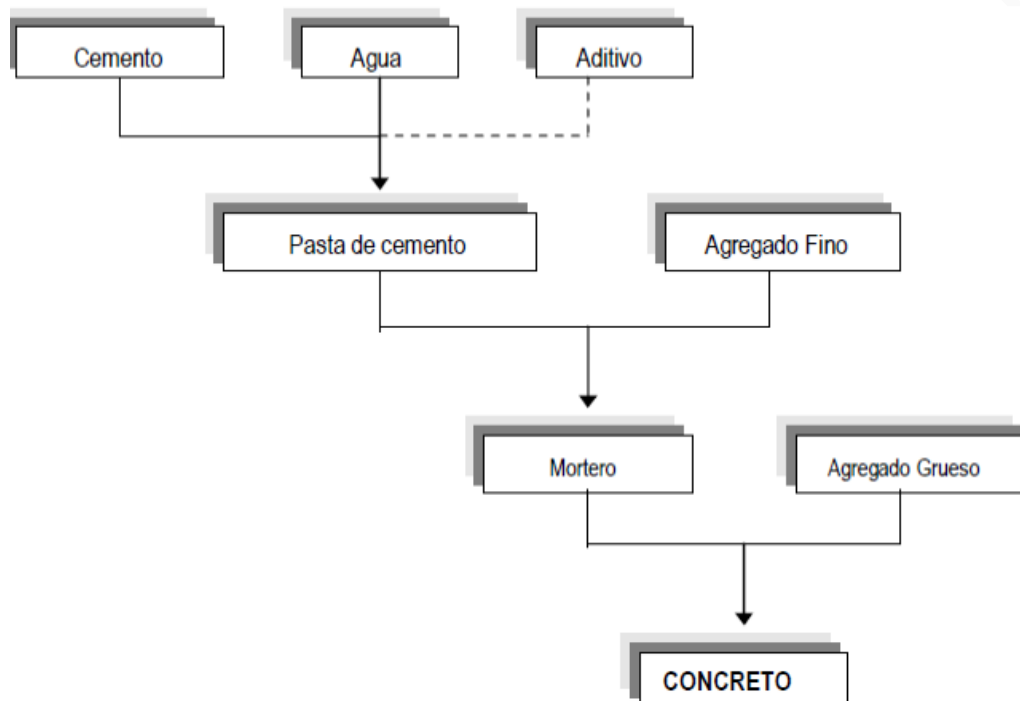


Fig.1.1: Esquema de Integración del Concreto.  
Fuente: Enrique Pasquel, 2000.

El concreto endurecido se compone de la pasta y el agregado.

- LA PASTA: La pasta de cemento (cemento más agua), por su parte, llena los espacios libres entre partículas de áridos, y durante el proceso de fraguado genera cristales hidratados que unen químicamente las partículas de agregados. La formación de estos cristales es una reacción química exotérmica (genera calor) que siempre requiere de agua para que tenga lugar, siendo mucho más intensa la reacción (la creación de los cristales cohesivos) en los primeros días posteriores a la fabricación del hormigón, y luego va disminuyendo progresivamente en su intensidad con el tiempo. Normalmente, dentro del hormigón, una parte del cemento no alcanza a combinarse con el agua, por lo que permanece como cemento no hidratado. Comprende a cuatro elementos fundamentales:
  - El Gel se define como a la parte sólida de la pasta la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación.
  - El gel es una aglomeración porosa de partículas sólidamente entrelazadas en su mayoría escamosas o fibrosas el conjunto de las cuales forma una red eslabonada que contiene material más o menos amorfos.
  - En su composición el gel comprende: La masa cohesiva de cemento hidratado en su estado de pasta más densa, el hidróxido de calcio cristalino y los poros gel.
  - El gel desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto especialmente en su resistencia mecánica y su elasticidad, donde intervienen dos clases de adherencia cohesivas; Atracción física y adherencia química.

**(Riva. E, 2000).**

### 1.1.1 FUNDAMENTOS DEL CONCRETO

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava, creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua (Fig. 1.2).

Otros materiales cementosos (cementantes) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta.

Generalmente los agregados se dividen en dos grupos: finos y gruesos (áridos). Los agregados finos pueden ser arena natural o artificial (manufacturadas) con partículas de hasta 9.5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg.); agregados gruesos son las partículas retenidas en la malla 1.18 mm (tamiz no.16) y pueden llegar hasta 150 mm (6 pulg.). El tamaño máximo del agregado grueso comúnmente empleado es 19 mm o 25 mm ( $\frac{3}{4}$  pulg. o 1 pulg.). Un agregado de tamaño intermedio, cerca de 9.5 mm ( $\frac{3}{8}$  pulg.) es, algunas veces, adicionado para mejorar la granulometría general del agregado.

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto. La Figura 1.3 enseña que el volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 4% hasta 8% del volumen.



Fig. 1.2: Componentes del concreto, cemento, agua, agregado grueso, agregado fino, son combinados para formar el concreto.  
Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004.

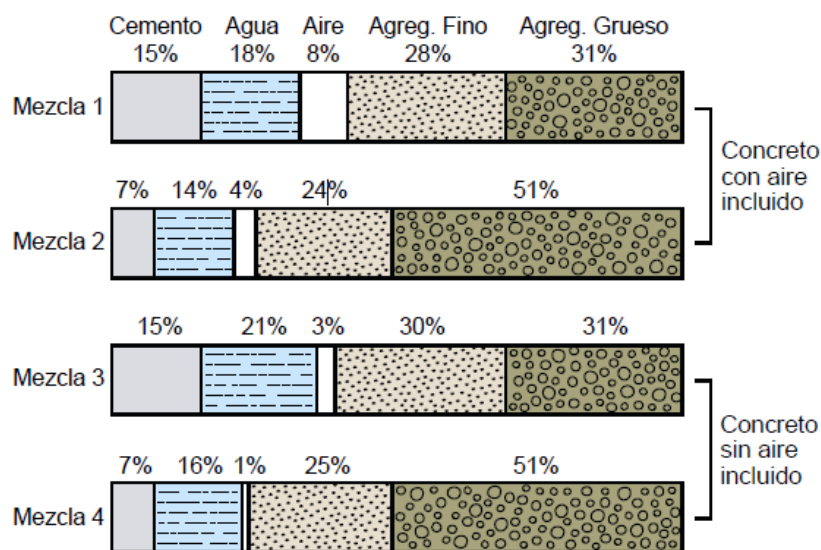


Fig. 1.3: Variación de las proporciones usadas en concreto en volumen absoluto.  
Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño.  
Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.  
Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004.

Como los agregados constituyen aproximadamente del 60% al 75% del volumen total del concreto, su selección es muy importante. Los agregados deben componerse de partículas con resistencia mecánica adecuada y con resistencia a las condiciones de exposición y no deben contener materiales que puedan causar

deterioración del concreto. La granulometría continua de tamaños de partículas es deseable para el uso eficiente de la pasta. A lo largo de este texto, se asumirá que se usan agregados apropiados, a menos que se señale de otra manera.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado y de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta, como se enseña en la Figura 1.4.



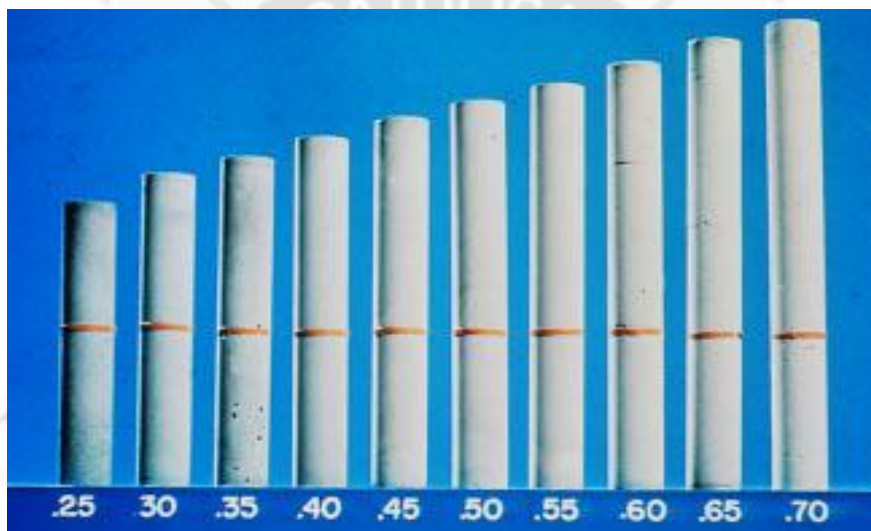
**Fig. 1.4 Sección transversal del concreto endurecido.**  
Fuente: Propia.

Para cualquier grupo de materiales y condiciones de curado, la calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento (Fig. 1.4). Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento del concreto). Las ventajas de la disminución de la cantidad de agua son:

- Aumento de la resistencia a la compresión (resistencia en compresión) y de la resistencia a flexión.
- Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad).
- Aumento de la resistencia a las intemperies.

- Mejor unión entre concreto y armadura.
- Reducción de la retracción (contracción, encogimiento) y de la fisuración.
- Menores cambios de volumen causado por la mojadura y el secamiento.

A menor cantidad de agua, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto.



**Fig. 1.5: 10 cilindros de pasta de cemento con relaciones agua-cemento de 0.25 a 0.70. La faja indica que cada cilindro contiene la misma cantidad de cemento. El aumento del agua diluye el efecto de la pasta de cemento, aumentando el volumen, reduciendo el peso específico y disminuyendo su resistencia. Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004.**

Tanto las propiedades del concreto fresco (plástico) como del concreto endurecido se pueden cambiar con la adición al concreto de aditivos químicos, normalmente en la forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos químicos comúnmente se emplean para:

- 1) El ajuste del tiempo de fraguado o de endurecimiento.
- 2) La reducción de la demanda de agua.
- 3) El aumento de la trabajabilidad (manejabilidad, docilidad).

4) La inclusión intencional de aire.

5) El ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

Después del término del proporcionamiento, dosificación, colocación (hormigonado, puesta, colado), consolidación, acabamiento y curado adecuados, el concreto se endurece, se transforma en un material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poca o ninguna conservación (mantenimiento).

Además, el concreto es un excelente material de construcción porque se lo puede moldear en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones.

### **(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

#### **1.1.2 CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

El concreto recién mezclado (amasado) debe ser plástico o semifluido y generalmente capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla de concreto muy húmeda se puede moldear en el sentido de que puede colarse en el molde o cimbras (encofrado), pero no está dentro de la definición de “plástico”– aquél que es flexible y capaz de ser moldeado de la misma manera que un terrón de arcilla para moldear.

En una mezcla plástica de concreto todos los granos de arena y los pedazos de grava o piedra son envueltos y sostenidos en suspensión. Los ingredientes no son propensos a la segregación durante el transporte; y cuando el concreto se endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. Durante la colocación, el concreto de consistencia plástica no se desmorona, más fluye lentamente sin segregarse.

En la práctica de la construcción, las piezas o elementos muy delgados de concreto y fuertemente armados (reforzados) requieren mezclas trabajables para facilitar su colocación, pero no con consistencia muy fluida. Es necesaria una mezcla plástica

para la resistencia y el mantenimiento de la homogeneidad durante el manejo y la colocación.

Como una mezcla plástica es apropiada para la mayoría de las obras en concreto, se pueden usar los aditivos plastificantes (fluidificantes) para que el concreto fluya más fácilmente en elementos delgados y fuertemente reforzados.

### **1.1.2.1 MEZCLADO**

La Figura 1.2 muestra separadamente los componentes básicos del concreto. Son necesarios esfuerzo y cuidado para que se asegure que la combinación de estos elementos sea homogénea. La secuencia de carga de los ingredientes en la mezcladora puede desempeñar un papel importante en la uniformidad del producto acabado.

La secuencia, sin embargo, puede variar y aún producir un concreto de buena calidad. Las diferentes secuencias requieren ajustes en el momento de la adición del agua, el número total de revoluciones del tambor de la mezcladora y la velocidad de la revolución. El volumen del concreto mezclado en relación con el tamaño del tambor de la mezcladora, el tiempo transcurrido entre el proporcionamiento y el mezclado, y el diseño, configuración y condiciones del tambor y de las paletas de la mezcladora son otros factores importantes en el mezclado. Las mezcladoras aprobadas, correctamente operadas y conservadas garantizan un intercambio de materiales de extremo a extremo a través de la acción del rolado, plegado y amasado del volumen del concreto sobre sí mismo mientras que el concreto se mezcla.

**(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**



Fig. 1.6: Mezclado de concreto.  
Fuente: Propia.

### 1.1.2.2 TRABAJABILIDAD

La facilidad de colocación, consolidación y acabado del concreto fresco y el grado que resiste a la segregación se llama trabajabilidad. El concreto debe ser trabajable pero los ingredientes no deben separarse durante el transporte y el manejo.

El grado de la trabajabilidad que se requiere para una buena colocación del concreto se controla por los métodos de colocación, tipo de consolidación y tipo de concreto. Los diferentes tipos de colocación requieren diferentes niveles de trabajabilidad.

Los factores que influyen en la trabajabilidad del concreto son:

- El método y la duración del transporte.
- Cantidad y características de los materiales cementantes.
- Consistencia del concreto (asentamiento en cono de Abrams o revenimiento).
- Tamaño, forma y textura superficial de los agregados finos y gruesos.
- Aire incluido (aire incorporado).
- Cantidad de agua.

- Temperatura del concreto y del aire.
- Los aditivos.

La distribución uniforme de las partículas de agregado y la presencia de aire incorporado ayudan considerablemente en el control de la segregación y en la mejoría de la trabajabilidad. La Figura 1.7 enseña el efecto de la temperatura de colocación sobre la consistencia o asentamiento en cono de Abrams y sobre la trabajabilidad potencial de las mezclas. Las propiedades relacionadas con la trabajabilidad incluyen consistencia, segregación, movilidad, bombeabilidad, sangrado (exudación) y facilidad de acabado. La consistencia es considerada una buena indicación de trabajabilidad.

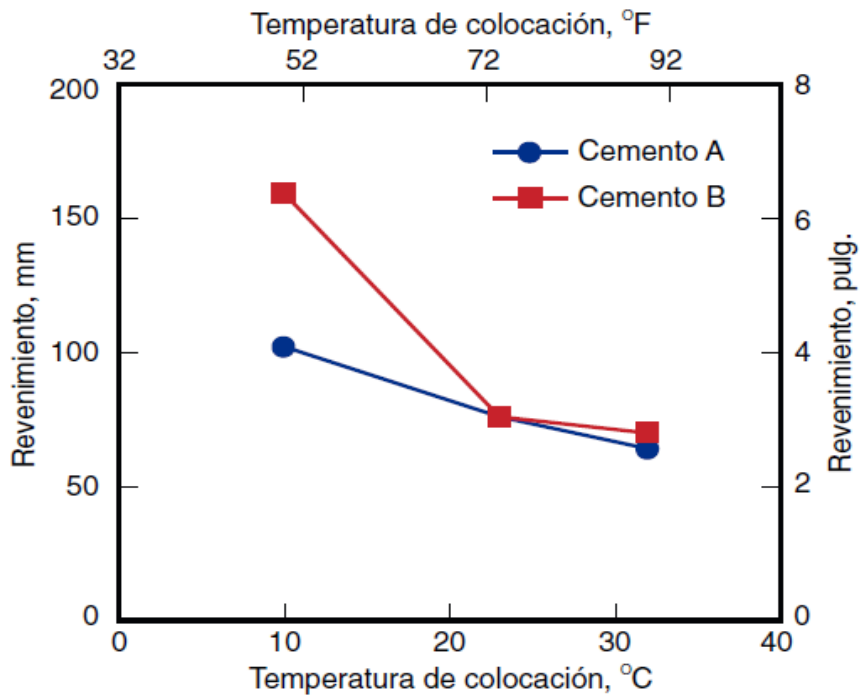


Fig. 1.7 Efecto de la temperatura de colocación en el asentamiento en cono de Abrams de 2 concretos confeccionados con diferentes cementos.  
Fuente: Burg 1996.

El asentamiento en cono de Abrams se usa como medida de la consistencia y de la humedad del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia rígida o seca. Si la consistencia es muy seca y rígida, la colocación y compactación

del concreto serán difíciles y las partículas más grandes de agregados pueden separarse de la mezcla. Sin embargo, no debe suponerse que una mezcla más húmeda y fluida es más trabajable. Si la mezcla es muy húmeda, pueden ocurrir segregación y formación de huecos. La consistencia debe ser lo más seca posible para que aún se permita la colocación empleándose los equipos de consolidación disponibles. Véase Powers (1932) y Scanlon (1994).

## **(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

### **1.1.2.3 SANGRADO Y ASENTAMIENTO**

Sangrado (exudación) es el desarrollo de una camada de agua en el tope o en la superficie del concreto recién colocado. Es causada por la sedimentación (asentamiento) de las partículas sólidas (cemento y agregados) y simultáneamente la subida del agua hacia la superficie (Fig. 1.8). El sangrado es normal y no debería disminuir la calidad del concreto adecuadamente colocado, acabado y curado. Un poco de sangrado es útil en el control de la fisuración por retracción plástica. Por otro lado, la excesiva aumenta la relación agua-cemento cerca de la superficie; puede ocurrir una camada superficial débil y con poca durabilidad, particularmente si se hace el acabado cuando el agua de sangrado aún está presente. Los vacíos y bolsas de agua pueden ocurrir, resultantes del acabado prematuro de la superficie.



**Fig. 1.8: Agua de exudación en la superficie del concreto recién colocado en la losa.  
Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004.**

Después que toda el agua de sangrado (exudación) se evapore, la superficie endurecida va a ser un poco más baja que la superficie recién colocada. Esta disminución de la altura desde el momento de la colocación (puesta, colado) hasta el inicio del fraguado se llama retracción por sedimentación. La tasa de sangrado (exudación) y la capacidad de sangrado (sedimentación total por unidad de peso del concreto original) aumentan con la cantidad inicial de agua, altura del elemento de concreto y presión. El uso de agregados de granulometría adecuada, ciertos aditivos químicos, aire incluido, materiales cementantes suplementarios y cementos más finos reduce el sangrado. El concreto usado para rellenar vacíos, proporcionar soporte o proporcionar impermeabilidad con una buena adhesión debe presentar bajo sangrado para evitar formación de bolsas de agua. Consulte Powers (1939), Steinour (1945) y Kosmatka (1994).

#### **(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

##### **1.1.2.4 CONSOLIDACIÓN**

La vibración mueve las partículas del concreto recién mezclado, reduce el rozamiento (fricción) entre ellas y les da la movilidad de un fluido denso. La acción vibratoria permite el uso de mezclas más rígidas con mayores proporciones de agregado grueso y menores proporciones de agregados finos. Si el agregado es bien graduado, cuanto mayor es su tamaño máximo, menor es el volumen para llenarse por la pasta y menor es el área superficial para ser cubierta por la pasta, así menos agua y cemento son necesarios.



**Fig. 1.9 Una buena consolidación es necesaria para lograrse un concreto denso y durable (izquierda). Una consolidación pobre (derecha) puede resultar en corrosión temprana de la armadura (refuerzo) y baja resistencia a compresión.  
Fuente: PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004.**

El concreto con la granulometría óptima del agregado es más fácil de consolidarse y colocarse (Fig. 1.9, izquierda). La consolidación del agregado grueso, bien como de mezclas más rígidas mejoran la calidad y la economía. Por otro lado, la mala consolidación puede resultar en un concreto poroso y débil con poca durabilidad (Fig. 1.9, derecha).

**(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

#### **1.1.2.5 HIDRATACIÓN TIEMPO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO**

La calidad de unión (adhesión) de la pasta de cemento portland se debe a las reacciones químicas entre el cemento y el agua, conocidas como hidratación.

El cemento portland no es un compuesto químico sencillo, es una mezcla de muchos compuestos. Cuatro de ellos totalizan 90% o más del peso del cemento portland: silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico (aluminio ferrito tetracálcico). Además de estos compuestos principales, muchos otros desempeñan un papel importante en el proceso de hidratación.

Cada tipo de cemento portland contiene los mismos cuatro compuestos principales, pero en proporciones diferentes.

La composición química del silicato de calcio hidratado es un tanto variable, pero contiene cal (CaO) y dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) en una proporción de 3 para 2. El área superficial del silicato de calcio hidratado es unos 300 metros cuadrados por gramo. En pastas endurecidas de cemento, el silicato de calcio hidratado forma un vínculo denso entre las otras fases cristalinas y los granos de cemento aún no hidratados; también se adhiere a los granos de arena y a los agregados gruesos, cementándolo todo junto (Copeland y Schulz, 1962).

Mientras el concreto se endurece, su volumen bruto permanece casi inalterado, pero el concreto endurecido contiene poros llenos de agua y aire, los cuales no tienen resistencia. La resistencia está en las partes sólidas de la pasta, sobre todo en el silicato de calcio hidratado y en los compuestos cristalinos.

Cuanto menos porosa es la pasta de cemento, más resistente es el concreto. Por lo tanto, al mezclarse el concreto, no se debe usar más agua que aquella estrictamente necesaria para obtenerse un concreto plástico y trabajable. Incluso, la cantidad de agua usada es normalmente mayor que la necesaria para la hidratación completa del cemento. Aproximadamente se necesitan 0.4 gramos de agua por gramo de cemento para la hidratación completa del cemento (Powers 1948 y 1949). Sin embargo, la hidratación completa es rara en los concretos de las obras, debido a una falta de humedad y al largo periodo de tiempo (décadas) que se requiere para obtener la hidratación total.

**(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

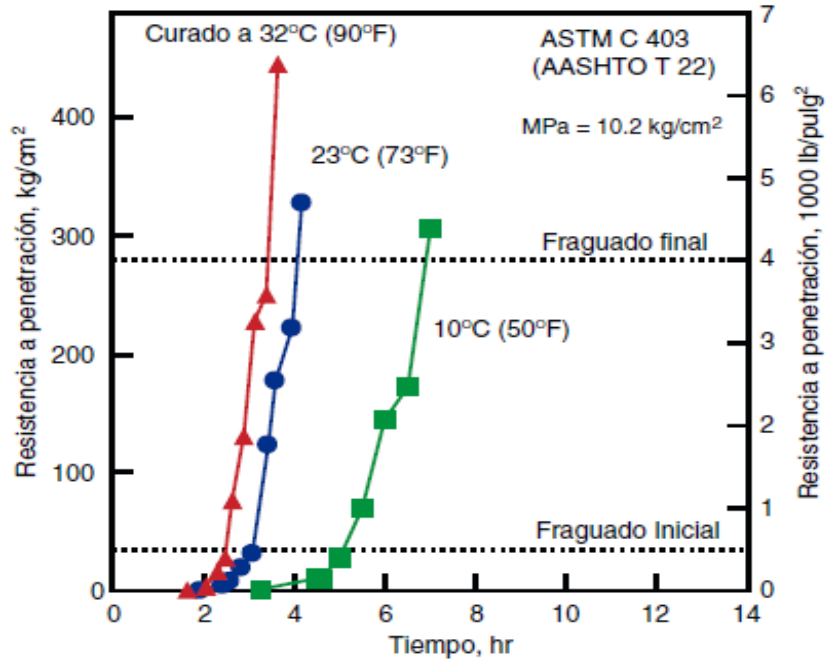


Fig. 1.10: Tiempo de inicio y fin de fraguado para una mezcla de concreto en diferentes temperaturas.  
 Fuente: Burg 1996.

### 1.1.3 CONCRETO ENDURECIDO

#### 1.1.3.1 CURADO

El aumento de la resistencia con la edad continúa desde que (1) el cemento no hidratado aún esté presente, (2) el concreto permanezca húmedo o la humedad relativa del aire esté arriba de aproximadamente 80% (Powers 1948), (3) la temperatura del concreto permanezca favorable y (4) haya suficiente espacio para la formación de los productos de hidratación.

Cuando la humedad relativa dentro del concreto baja para cerca de 80% o la temperatura del concreto baja para menos del cero, la hidratación y el ganó de resistencia se interrumpen. La Figura 1.11 enseña la relación entre incremento de resistencia y curado húmedo, mientras que la Figura 1.12 muestra la relación entre el aumento de resistencia y la temperatura del curado.

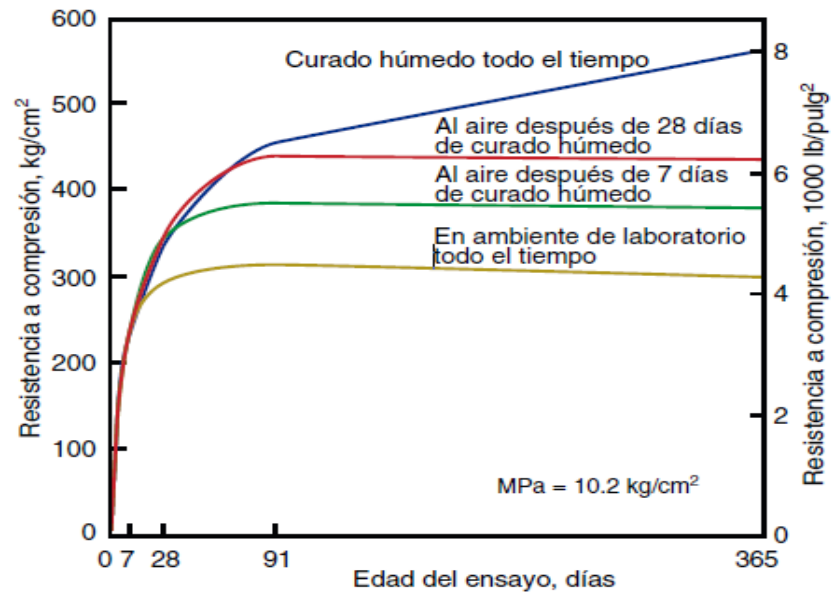


Fig. 1.11: La resistencia del concreto aumenta con la edad, desde que haya adecuada humedad y temperatura favorable para la hidratación del cemento.  
Fuente: Gonnerman y Shuman 1928.

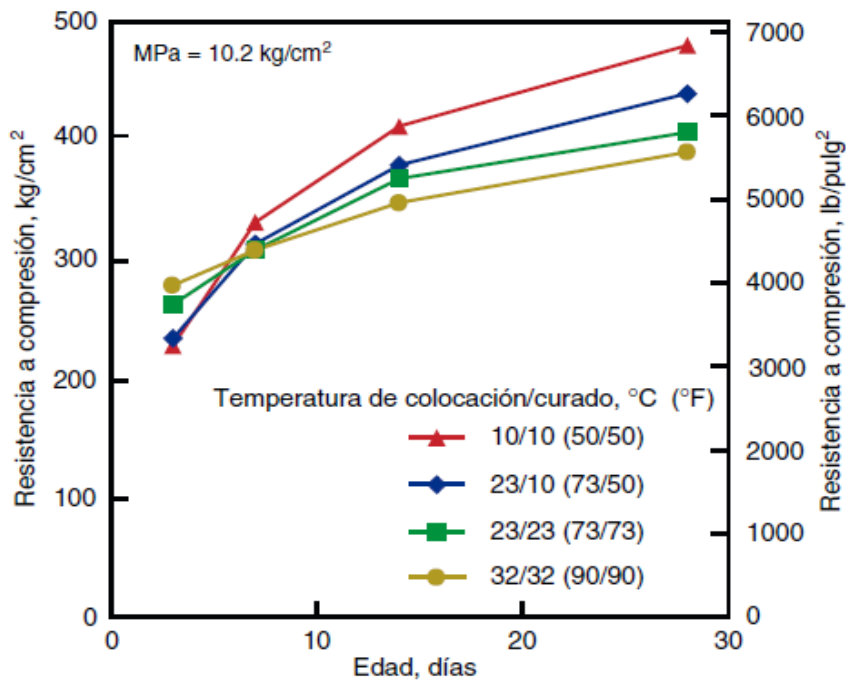


Fig. 1.12: Efecto de la temperatura de colocación y de curado sobre el desarrollo de la resistencia. Observe que las temperaturas más frías resultan en resistencias tempranas menores y resistencias mayores a altas edades.  
Fuente: Wood 1992.

Si se vuelve a saturar el concreto después del periodo de secado (deseccación), la hidratación empieza nuevamente y la resistencia vuelve a aumentar. Sin embargo, es mucho mejor que el curado húmedo sea aplicado continuamente desde el momento de la colocación hasta que el concreto haya alcanzado la calidad deseada; una vez que el concreto se haya secado completamente, es muy difícil volver a saturarlo. La Figura 1.13 ilustra el aumento de resistencia de un concreto expuesto al aire libre por un periodo largo de tiempo. La exposición al aire libre normalmente proporciona humedad a través del contacto con el suelo y la lluvia. Los concretos en ambientes internos normalmente secan completamente después del curado y no continúan a desarrollar resistencia.

**(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

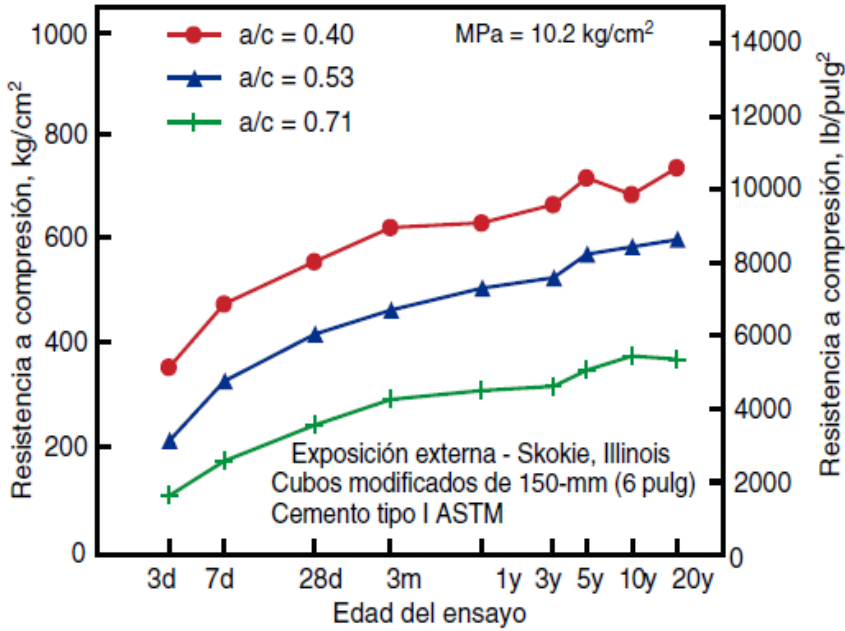


Fig. 1.13: Desarrollo de la resistencia del concreto a lo largo del tiempo de exposición al aire libre. El concreto continúa desarrollando resistencia por muchos años siempre que la humedad sea fornecida por la lluvia y otras fuentes medioambientales. Fuente: Wood 1992.

### 1.1.3.2 VELOCIDAD DE SECADO DE CONCRETO

El concreto no se endurece o se cura con el secado. El concreto (o más precisamente el cemento en él) necesita de humedad para hidratarse y endurecerse. Cuando el concreto se seca, la resistencia para de crecer; el hecho es que el secado no indica que haya ocurrido suficiente hidratación para que se obtengan las propiedades físicas deseables.

El conocimiento de la velocidad de desecación (tasa de secado) es útil para el entendimiento de las propiedades o condiciones físicas del concreto. Por ejemplo, como mencionado, el concreto necesita tener suficiente humedad durante el periodo de curado para que el concreto se hidrate hasta que se puedan lograr las propiedades deseables. Los concretos recién colocados normalmente tienen abundancia de agua, pero a medida que el secado progresa de la superficie para el interior del concreto, el aumento de resistencia continúa solo hasta cada profundidad, desde que la humedad relativa en aquella profundidad permanezca arriba de los 80%.

**(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**



**Fig. 1.14: Concreto puesto en moldes para su secado.  
Fuente: Propia.**

### 1.1.3.3 RESISTENCIA

La resistencia a compresión se puede definir como la medida máxima de la resistencia a carga axial de especímenes de concreto. Normalmente, se expresa en kilogramos por centímetros cuadrados ( $\text{kg/cm}^2$ ), mega pascales (MPa) o en libras por pulgadas cuadradas ( $\text{lb/pulg}^2$  o  $\text{psi}$ ) a una edad de 28 días. Un mega pascal equivale a la fuerza de un newton por milímetro cuadrado ( $\text{N/mm}^2$ ) o 10.2 kilogramos-fuerza por centímetro cuadrado. Se pueden usar otras edades para las pruebas, pero es importante saber la relación entre la resistencia a los 28 días y la resistencia en otras edades. La resistencia a los 7 días normalmente se estima como 75% de la resistencia a los 28 días y las resistencias a los 56 y 90 días son aproximadamente 10% y 15% mayores que la resistencia a los 28 días, como se puede observar en la Figura 1.15. La resistencia a compresión especificada se designa con el símbolo  $f'_c$  y la resistencia a compresión real del concreto  $f_c$  debe excederla.

La resistencia a compresión que el concreto logra,  $f_c$ , es función de la relación agua-cemento (o relación agua-materiales cementantes), cuanto la hidratación ha progresado, el curado, las condiciones ambientales y la edad del concreto.

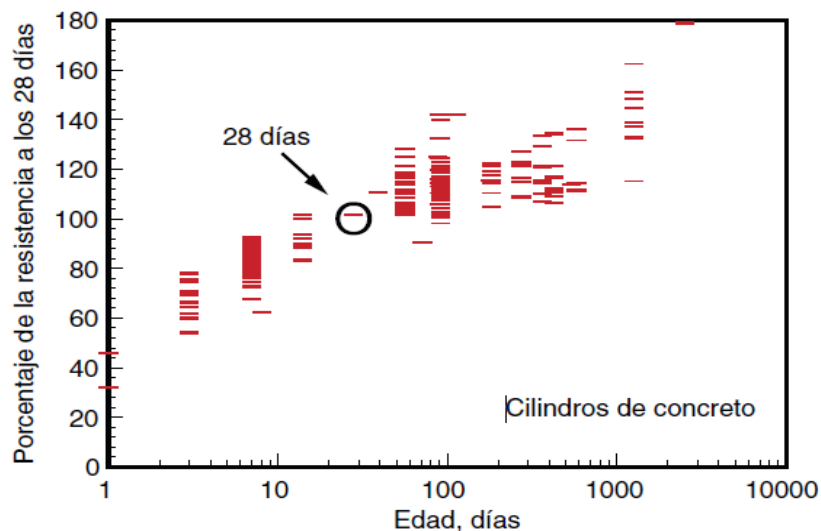


Fig. 1.15: Desarrollo de la resistencia a compresión de varios concretos, expreso como porcentaje de la resistencia a los 28 días.  
Fuente: Lange 1944.

La correspondencia entre resistencia y la relación agua cemento ha sido estudiada desde el final del siglo XIX y principio del siglo XX (Ferret 1897 y Abrams 1918). La Figura 1.16 presenta las resistencias a compresión para una gran variedad de mezclas de concreto y relaciones agua cemento a los 28 días de edad. Observe que las resistencias aumentan con la disminución de la relación agua-cemento.

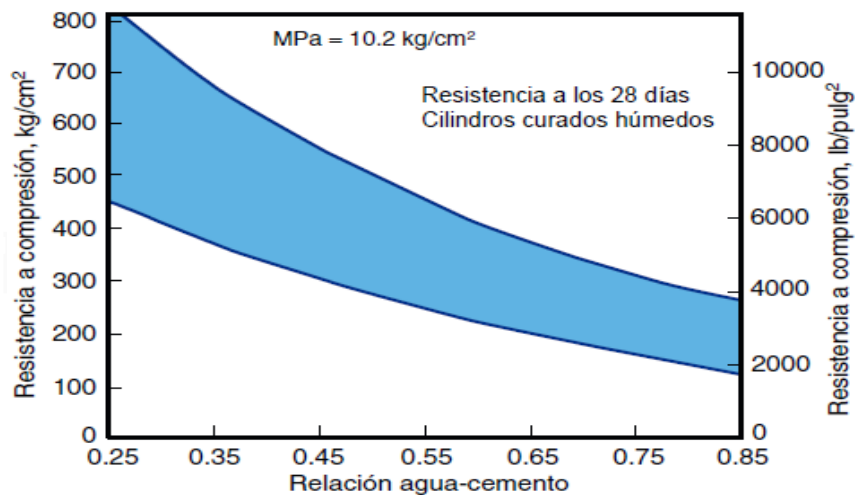


Fig. 1.16: Variación de resistencias típicas para relaciones agua-cemento de concreto de cemento portland basadas en más de 100 diferentes mezclas de concreto. Fuente: Lange 1994.

Para una cierta trabajabilidad y un contenido de cemento, el concreto con aire incluido (incorporado) requiere menos agua de mezclado (amasamiento) que un concreto sin aire incluido. La posibilidad de empleo de relaciones agua-cemento menores en el concreto con aire incluido compensa las resistencias menores en estos concretos, especialmente en mezclas pobres o con medio contenido de cemento.

La resistencia a flexión o el módulo de ruptura (rotura) se usa en el diseño de pavimentos u otras losas (pisos, placas) sobre el terreno. La resistencia a compresión, la cual es más fácil de ser medida que la resistencia a flexión, se puede usar como un índice de resistencia a flexión, una vez que la relación empírica entre ambas ha sido establecida para los materiales y los tamaños de los elementos involucrados.

La resistencia a torsión en el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y las dimensiones de los miembros de concreto. Hsu (1968) presenta correlaciones para la resistencia a torsión.

Las correlaciones entre resistencia al cortante y resistencia a compresión se discuten en el ACI 318 código de construcción. La correlación entre resistencia a compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión y cortante varía con los componentes del concreto y el medio ambiente.

El módulo de elasticidad, denotado por el símbolo E, se puede definir como la razón entre el esfuerzo normal a una deformación correspondiente para el esfuerzo de tensión o compresión abajo del límite de proporcionalidad del material. En concretos de peso normal, el E varía de 140,000 a 420,000 kg/cm<sup>2</sup> o de 14,000 a 41,000 MPa (2 a 6 millones de lb/pulg<sup>2</sup>) y puede ser aproximado a 15,500 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kilogramos por centímetros cuadrados o 5,000 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en mega pascales (57,000 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en libras por pulgada cuadrada).

Como en otras relaciones de resistencia, la relación entre el módulo de elasticidad y la resistencia a compresión es específica para una mezcla de ingredientes y se la debe verificar en el laboratorio (Word 1992).

#### **(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

##### **1.1.3.4 PESO UNITARIO (DENSIDAD)**

El concreto convencional, normalmente usado en pavimentos, edificios y otras estructuras, tiene un peso específico (densidad, peso volumétrico, masa unitaria) que varía de 2200 hasta 2400 kg/m<sup>3</sup> (137 hasta 150 libras/piés<sup>3</sup>). La densidad del concreto varía dependiendo de la cantidad y la densidad del agregado, la cantidad de aire atrapado (ocluido) o intencionalmente incluido y las cantidades de agua y cemento. Por otro lado, el tamaño máximo del agregado influye en las cantidades de agua y cemento. Al reducirse la cantidad de pasta (aumentándose la cantidad de agregado), se aumenta la densidad. Algunos valores de densidad para el concreto

fresco se presentan en la Tabla 1.1. En el diseño del concreto armado (reforzado), el peso unitario de la combinación del concreto con la armadura normalmente se considera 2400 kg/m<sup>3</sup> (150 libras/piés<sup>3</sup>).

Tamaño máximo del agregado, mm	Contenido de aire, porcentaje	Agua, kg/m <sup>3</sup>	Cemento, kg/m <sup>3</sup>	Densidad, kg/m <sup>3</sup> **				
				Gravedad específica del agregado†				
				2.55	2.60	2.65	2.70	2.75
19	6.0	168	336	2194	2227	2259	2291	2323
37.5	4.5	145	291	2259	2291	2339	2371	2403
75	3.5	121	242	2307	2355	2387	2435	2467

Tamaño máximo del agregado, pulgadas	Contenido de aire, porcentaje	Agua, lb/yd <sup>3</sup>	Cemento, lb/yd <sup>3</sup>	Densidad, lb/pies <sup>3</sup> **				
				Gravedad específica del agregado†				
				2.55	2.60	2.65	2.70	2.75
¾	6.0	283	566	137	139	141	143	145
1½	4.5	245	490	141	143	146	148	150
3	3.5	204	408	144	147	149	152	154

**Tabla 1-1: promedio de las dimensiones observadas para el concreto fresco en unidades del SI y unidades en Plg-Lb.**

Concreto con aire incluido, con la cantidad de aire indicada.

En condición saturada, con superficie seca. Multiplica la densidad relativa del agregado por 1000 (SI), 62.4 (Lb/pie<sup>3</sup>), para obtener la respectiva densidad de las partículas del agregado.

Fuente: Bureau of Reclamation, 1981.

El peso del concreto seco es igual al peso de los ingredientes del concreto fresco menos el peso del agua de mezclado evaporable. Parte del agua de la mezcla combina químicamente con el cemento durante el proceso de hidratación, transformando el cemento en un gel de cemento. Además, parte del agua permanece fuertemente retenida en los poros y en los capilares y no se evapora bajo las condiciones normales.

La cantidad del agua de mezclado que se evaporará del concreto expuesto en un medio ambiente con humedad relativa del 50% es cerca del 1/2% al 3% del peso del concreto; la cantidad real depende del contenido inicial de agua, de las características de absorción de los agregados y del tamaño y forma de los miembros del concreto.

Aparte del concreto convencional, hay una gran cantidad de concretos especiales para atender a las más variadas necesidades, los cuales varían de concretos aislantes ligeros (livianos) con densidad de 240 kg/m<sup>3</sup> (15 libras por yardas cúbicas)

hasta los concretos pesados con pesos unitarios de 6000 kg/m<sup>3</sup> (375 libras por yardas cúbicas), usados como contrapesos o blindajes contra radiación.

## **(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

### **1.1.3.5 PERMEABILIDAD Y ESTANQUIDAD**

El concreto usado en estructuras de retención de agua o expuestas a condiciones del tiempo u otras condiciones severas de exposición deben ser casi impermeables o estancas. La estanquidad (hermeticidad) es normalmente conocida como la habilidad del concreto en retener el agua sin escurrimiento o escape visible. La permeabilidad es la cantidad de agua que migra a través del concreto, mientras que el agua está bajo presión o la habilidad del concreto en resistir a la penetración del agua u otra sustancia (líquidos, gases o iones). Generalmente, la misma propiedad que hace el concreto menos permeable también lo hace más estanco.

La permeabilidad total del concreto al agua es función de:

- 1) la permeabilidad de la pasta.
- 2) la permeabilidad y la granulometría del agregado.
- 3) la calidad de la pasta y de la zona de transición del agregado.
- 4) la proporción relativa de pasta y agregado.

La disminución de la permeabilidad aumenta la resistencia al congelamiento y deshielo del concreto, re-saturación, penetración de sulfatos y de iones cloruro y otros ataques químicos.

La permeabilidad de la pasta es particularmente importante pues la pasta cubre todos los componentes en el concreto. La permeabilidad es afectada por la relación agua-cemento, grado de hidratación del cemento y periodo del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere una relación agua-cemento baja y un periodo de curado adecuado. El aire incluido ayuda la estanquidad, pero tiene poco efecto sobre la permeabilidad. La permeabilidad aumenta con el secado.

La permeabilidad de una pasta de cemento endurecida, mantenida continuamente húmeda, varía de  $0.1 \times 10^{-12}$  hasta  $120 \times 10^{-12}$  cm por segundo, con relaciones agua cemento que varían de 0.3 hasta 0.7 (Powers y otros 1954).

La permeabilidad de la roca comúnmente usada como agregado para concreto varía de aproximadamente  $1.7 \times 10^{-9}$  hasta  $3.5 \times 10^{-13}$  cm por segundo. La permeabilidad de un concreto maduro, de buena calidad es aproximadamente  $1 \times 10^{-10}$  cm por segundo.

Ocasionalmente, el concreto poroso, o concreto sin finos que permite el pasaje del agua, se diseña para aplicaciones especiales. En estos concretos, la cantidad de agregado fino es muy reducida o eliminada completamente, produciendo un gran volumen de vacíos de aire. El concreto poroso ha sido usado en pistas, canchas de tenis, pavimentos, aparcamientos, invernaderos y estructuras de drenaje. El concreto poroso también ha sido empleado en edificios debido a sus propiedades de aislamiento térmico.

**(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

#### **1.1.3.6 DURABILIDAD**

La durabilidad del concreto se puede definir como la habilidad del concreto en resistir a la acción del ambiente, al ataque químico y a la abrasión, manteniendo sus propiedades de ingeniería. Los diferentes tipos de concreto necesitan de diferentes durabilidades, dependiendo de la exposición del ambiente y de las propiedades deseables. Los componentes del concreto, la proporción de éstos, la interacción entre los mismos y los métodos de colocación y curado determinan la durabilidad final y la vida útil del concreto.

**(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

### **1.2 COMPONENTES DEL CONCRETO**

#### **1.2.1 CEMENTO PORTLAND**

El cemento portland es producto de la pulverización de Clinker compuesto por silicatos de calcio hidráulicos con algunas formas de sulfatos de calcio, es decir, que el cemento portland es igual a la molienda de Clinker Portland más yeso. Se puede admitir en la molienda otros productos, siempre y cuando este no exceda el 1% del peso y no afecte las propiedades del cemento. El cemento portland debe cumplir con la norma ASTM C 150 para los tipos I, II y V, que son fabricados en el Perú o con las normas NTP para cementos.

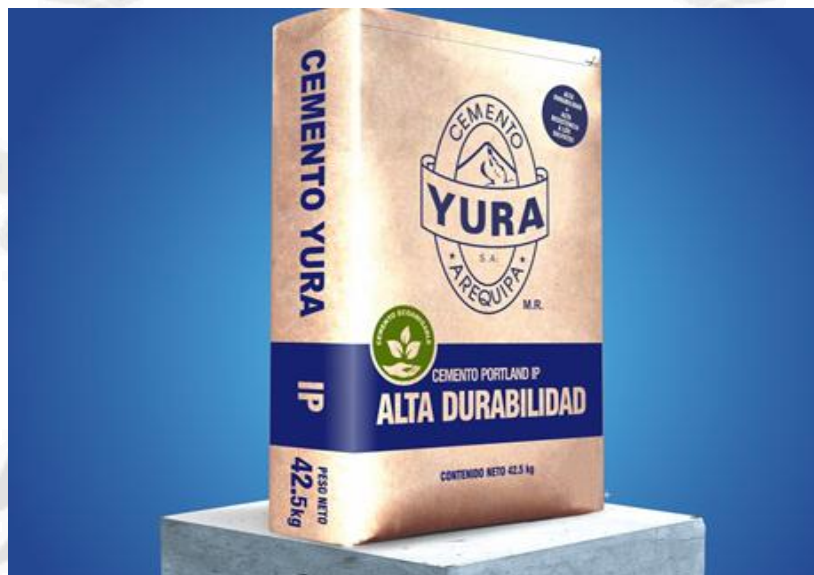


Fig. 1.17: Cemento Yura.  
Fuente: [www.yura.com.pe](http://www.yura.com.pe)

El Clinker Portland comienza por un proceso de calcinación combinada de compuestos de silicatos de calcio, aluminatos de calcio, ferro aluminatos de calcio y otras pequeñas cantidades de óxidos de calcio que a 1500°C reaccionan entre sí, y producen este denominado Clinker Portland. El producto obtenido de la calcinación es enfriado al aire libre y luego molido con una adición de alrededor del 6% de sulfato de calcio (yeso) para formar el cemento portland.

- DESCRIPCIÓN DE LA FABRICACIÓN DEL CEMENTO

Los Cementos Portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. Durante esta reacción, llamada

hidratación, el cemento se combina con agua para formar una pasta endurecida de aspecto similar a una roca.

Los componentes básicos para la fabricación del cemento portland son el óxido de calcio, óxido de sílice, alúmina y el óxido de hierro.

La materia prima necesaria para tener las cantidades correctas de los componentes básicos es una mezcla de materiales calcáreos (piedra caliza) y arcillosos. El proceso de fabricación del cemento comprende cuatro etapas principales:

- 1) Extracción y molienda de la materia prima
- 2) Homogeneización de la materia prima
- 3) Producción del Clinker
- 4) Molienda de cemento.
- 5) Almacenamiento del Cemento

**(Riva. E, 2000)**

### **1.2.1.1 PROPIEDADES DEL CEMENTO**

#### **a) Hidratación del Cemento**

En presencia del agua, los silicatos y aluminatos del cemento Portland forman productos de hidratación o hidratos, que resulta en una masa fina y dura; la pasta endurecida del cemento.

La hidratación del cemento consiste en el conjunto de reacciones químicas que ocurre entre el agua y los componentes del cemento, estas reacciones producen el cambio del estado plástico al endurecido. La velocidad de hidratación del cemento es directamente proporcional a la finura del mismo e inversamente proporcional al tiempo, es por eso que la hidratación inicial es muy rápida y luego va disminuyendo

con el transcurso de los días, aunque nunca se detiene el proceso. El proceso es exotérmico, genera un flujo de calor hacia el exterior llamado calor de hidratación.

#### a.1) Calor de Hidratación

Como muchas reacciones químicas, la hidratación es exotérmica y la cantidad de calor (en Joules) por gramo de cemento no hidratado, desarrolla hasta una hidratación total a una temperatura dada, se define como de hidratación.

Para el promedio usual de cemento Portland, aproximadamente la mitad del calor total se libera entre uno y tres días, alrededor de  $\frac{1}{4}$  parte en siete días y casi el 90% en seis meses.

La hidratación se inicia en las partículas de la superficie del cemento, el área de la superficie total del cemento representará el material disponible para hidratación. El índice de hidratación dependerá de la FINURA de las partículas del cemento y para el rápido desarrollo de la resistencia será necesaria una gran FINURA.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta el costo del molido y el efecto de la finura en otras propiedades, por ejemplo, los requerimientos del yeso, la manejabilidad del concreto fresco y su desempeño en el largo plazo.

#### b) Fineza del Cemento

La hidratación se inicia en las partículas de la superficie del cemento, el área de la superficie del cemento representa el material disponible para la hidratación. Entonces, la velocidad de hidratación dependerá de la fineza de las partículas del cemento, no obstante, debe tenerse en cuenta el efecto de la fineza de las partículas en otras propiedades (la cantidad de yeso, la trabajabilidad del concreto fresco, y los cambios de volumen). La Fineza está referida al grado de molienda del polvo, se expresa por la superficie específica, en  $m^2/kg$ . En laboratorio existen 2 ensayos para determinarlo, el Permeabilímetro de Blaine y el Turbidímetro de Wagner.

#### c) Peso Específico

Referido al peso del cemento por unidad de volumen, se expresa en gr/cm<sup>3</sup>. En el laboratorio se determina por medio de Ensayo del Frasco de Le Chatelier (NTP 334.005), no es indicador de la calidad del cemento, su uso se da en el diseño de mezclas.

#### d) Tiempo de fraguado

Es el tiempo de endurecimiento de la pasta de cemento, es decir, el cambio de estado fluido al estado rígido. Se expresa como, Fraguado Inicial y Fraguado Final, el fraguado inicial corresponde a un incremento rápido de la temperatura, ocurre en minutos, alrededor de los primeros 60 minutos. El Fraguado Final corresponde a la temperatura más alta, y se da alrededor de las 10 horas.

Este término se emplea para describir el endurecimiento de la pasta de cemento. El fraguado se debe principalmente a la hidratación del C3A y C3S, acompañada de una elevación de la temperatura de la pasta de cemento.

En laboratorio existen 2 métodos para calcularlo: Agujas de Vicat: NTP 334.006 y Agujas de Gillmore: NTP 334.056.

Para determinar el fraguado inicial se emplea el aparato de VICAT, esta es una aguja de 1mm de diámetro. El fraguado inicial corresponde a un incremento rápido y el fraguado final a la temperatura pico. En el falso fraguado no se desprende calor alguno y el concreto puede pre-mezclarse sin añadir agua.

La relación aproximada entre los periodos iniciales y final de fraguado es la siguiente:

$$TF \text{ (mín.)} = 90 + 1.2 [TI \text{ (mín.)}]$$

#### e) Estabilidad de Volumen

Es fundamental que la pasta de cemento fraguado no tenga cambios indeseados de volumen, que puede causar la ruptura de la pasta endurecida, esta expansión ocurre a causa de las reacciones de cal activa, magnesio y sulfato de calcio. La verificación

de la expansión volumétrica se representa en porcentaje (%), en laboratorio se determina mediante el ensayo de Autoclave, NTP 334.004.

#### f) Resistencia

Es una de las propiedades más importantes del cemento, debido a que con esta prueba podemos conocer la calidad del cemento. Las pruebas de resistencia no se hacen en la pasta de cemento, ya que, no se pueden obtener buenas muestras y eso no daría resultados objetivos; es por eso que se hacen muestras de cemento y arena (mortero) en probetas cúbicas de 5cm. De acuerdo con la norma NTP 334.051 (98). Se muestra el gráfico en los anexos en la figura N° 6, correspondiente al desarrollo de la resistencia a compresión de los diversos tipos de cemento.

Hay varias formas de pruebas de resistencia: A la tensión directa (ASTM C-190), a la compresión (ASTM C-109), y a la flexión (ASTM C-348.8).

**(Riva. L, 2000)**

### **1.2.1.2 TIPOS DE CEMENTO PORTLAND**

#### a) Cementos Portland sin adición

Es el tipo de cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón o concreto es el cemento portland. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica.

Con el agregado de materiales particulares al cemento (Calcáreo o cal) se obtiene el cemento plástico, que fragua más rápidamente y es más fácilmente trabajable.

Normativa: La calidad del cemento portland deberá estar de acuerdo con la norma NTP 334.009; NTP 334.038; NTP 334.040, respectivamente o con la norma ASTM C 150.

TIPOS: Según NTP 334.009:2005, se clasifican en:

- Tipo I: Para usos que no requieran propiedades especiales de cualquier otro tipo.
- Tipo II: Para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos o moderado calor de hidratación
- Tipo III: Para utilizarse cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- Tipo IV: Para emplearse cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V: Para emplearse cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

#### b) Cementos Portland Adicionados

Contienen además de Clinker Portland y Yeso, 2 o más constituyentes inorgánicos que contribuyen a mejorar las propiedades del cemento. (Ej.: puzolanas, escorias granuladas de altos hornos, componentes calizos, sulfato de calcio, incorporadores de aire). Aquí se muestran según Normas técnicas:

- Cementos Portland Puzolánicos (NTP 334.044)
  - Cemento Portland Puzolánico Tipo IP: Contenido de puzolana entre 15% y 40%.
  - Cemento Portland Puzolánico Modificado Tipo I (PM) Contenido de puzolana menos de 15%.
- Cementos Portland de Escoria (NTP 334.049)
  - Cemento Portland de Escoria Tipo IS: Contenido de escoria entre 25% y 70%.
  - Cemento Portland de Escoria Modificado Tipo I (SM) Contenido de escoria menor a 25%.
- Cementos Portland Compuesto Tipo 1 (Co) (NTP 334.073): Cemento adicionado obtenido por la pulverización conjunta de Clinker Portland y materiales calizos (travertino), hasta un 30% de peso.

- Cemento de Albañilería (A) (NTP 334.069): Cemento obtenido por la pulverización de Clinker Portland y materiales que mejoran la plasticidad y la retención de agua.

### c) Cementos Portland Especiales

Los cementos portland especiales son los cementos que se obtienen de la misma forma que el portland, pero que tienen características diferentes a causa de variaciones en el porcentaje de los componentes que lo forman.

- Portland férrico.

El Portland férrico está caracterizado por un módulo de fundentes de 0,64. Esto significa que este cemento es muy rico en hierro. En efecto se obtiene introduciendo cenizas de pirita o minerales de hierro en polvo. Este tipo de composición comporta por lo tanto, además de una mayor presencia de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , una menor presencia de  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  cuya hidratación es la que desarrolla más calor. Por este motivo estos cementos son particularmente apropiados para ser utilizados en climas cálidos. Los mejores cementos férricos son los que tienen un módulo calcáreo bajo, en efecto estos contienen una menor cantidad de  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ , cuya hidratación produce la mayor cantidad de cal libre ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Puesto que la cal libre es el componente mayormente atacable por las aguas agresivas, estos cementos, conteniendo una menor cantidad, son más resistentes a las aguas agresivas.

- Cementos blancos.

Contrariamente a los cementos férricos, los cementos blancos tienen un módulo de fundentes muy alto, aproximadamente 10. Estos contienen por lo tanto un porcentaje bajísimo de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . El color blanco es debido a la falta del hierro que le da una tonalidad grisácea al Portland normal y un gris más oscuro al cemento férrico. La reducción del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  es compensada con el agregado de fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) y de criolita ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ), necesarios en la fase de fabricación en el horno. Para bajar la calidad del tipo de cemento que hoy en día hay 4: que son tipo I 52,5, tipo II 52,5, tipo II 42,5 y tipo II 32,5; también

llamado pavi) se le suele añadir una adición extra de caliza que se le llama clinkerita para rebajar el tipo, ya que normalmente el clinker molido con yeso sería tipo I.

- Cementos de mezclas.

Los cementos de mezclas se obtienen agregando al cemento Portland normal otros componentes como la puzolana. El agregado de estos componentes le da a estos cementos nuevas características que lo diferencian del Portland normal.

**(Riva. L, 2000)**

### **1.2.2 AGUA PARA EL CONCRETO**

El agua es un elemento indispensable para la hidratación del concreto y el desarrollo de sus propiedades, por consiguiente, el componente tiene que cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo su función en la combinación química y no generar ningún inconveniente en la producción y en las propiedades del concreto.

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, se podrá emplear como aguas de mezclado aquellas que se consideren potables.

#### **1.2.2.1 AGUA PARA LA MEZCLA**

El agua para mezclar en el concreto tiene tres funciones principales: primera, reaccionar con el cemento para hidratarlo; segundo, actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto; propagar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse. La cantidad de agua que interviene en la mezcla de concreto, es mayor a la necesaria para hidratación de cemento, esto se da normalmente por razones de trabajabilidad.



Fig. 1.18: Agua para el mezclado y curado del concreto.  
Fuente: <https://goo.gl/images/UcPwDq>.

El agua para mezcla del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser, de preferencia potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse, los Límites Permisibles para el agua de mezcla y curado según la Norma NTP 339.088 se muestran en la tabla N° 7, detallándose en los anexos.

#### **1.2.2.2 AGUA PARA EL CURADO**

En general, el agua que es adecuada para la mezcla también lo es para el curado por otro lado, en la producción de concreto es usual emplear la misma fuente de suministro de agua tanto para la preparación como por el curado del concreto.

#### **1.2.2.3 REQUISITOS DEL COMITÉ 318 DEL ACI**

- El agua empleada en el mezclado del concreto deberá estar limpia y libre de cantidades peligrosas de aceites, álcalis, ácidos, sales, materia orgánica, u otras sustancias peligrosas para el concreto o el refuerzo.
- El agua de mezclado para concreto premezclado o para concreto que deberá contener elementos de aluminio embebidos, incluida la porción del agua de mezclado que es contribuida en forma de agua libre sobre el agregado, no deberá contener cantidades peligrosas de ion cloruro.
- No deberá emplearse en el concreto aguas no potables, salvo que las siguientes condiciones sean satisfechas:

- La selección de las proporciones del concreto deberá basarse en mezclas de concreto en las que se ha empleado agua de la misma fuente.
- Los cubos de ensayo de morteros preparados con aguas de mezclado no potables deberán tener a los 7 y 28 días resistencias iguales a por lo menos el 90% de la resistencia de especímenes similares preparados con agua potable. Los ensayos de comparación de resistencia deberán ser preparados con morteros, idénticos con excepción del agua de mezclado, preparados y ensayados de acuerdo con la Norma ASTM C 109 "Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortar" (Empleando especímenes cúbicos de 2" o 50 mm).

**(Pasquel. E, 2000)**

### **1.2.3 AGREGADOS**

Define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados en la NTP 400. Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto.

Hace un tiempo, el agregado era considerado como un material inerte, disperso en la parte de cemento para producir un gran volumen de concreto. *El agregado no es inerte, pues sus propiedades físicas, térmicas, y en ocasiones hasta químicas, pueden influir en el desempeño, por ejemplo mejorando el control en su durabilidad, estabilidad de volumen los de la pasta de cemento, resistencia a la compresión, trabajabilidad y peso unitario del concreto endurecido.* (Abanto. F, 2005 (1))

#### **1.2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PARA CONCRETO**

a) Por su procedencia

Se clasifican en:

- Agregados naturales: Son formados por los procesos geológicos naturales que han ocurrido en el planeta durante miles y miles de años, son extraídos, seleccionados y procesado por optimizar su empleo en la producción de concreto. Estos agregados son de uso más frecuente nivel mundial y particularmente en el país, su amplia disponibilidad tanto en calidad, cantidad, lo que lo hacen ideales para producir concreto.
- Agregados artificiales: Proviene de un proceso de transformación de materiales naturales, que proveen productos secundarios que con un tratamiento adicional se habilitan para emplearse en la producción de concreto. Algunos agregados de este tipo son, escoria de altos hornos, la arcilla horneada, en concreto reciclado, la microsilice etc. Para conocer el verdadero potencial de este tipo de agregados, necesitamos hacer mayor investigación sobre sus propiedades y su desempeño en el concreto

b) Por su gradación

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas, que como ya se mencionó, tiene mucha importancia en concreto. De acuerdo a la gradación podemos practicar el agregado en:

- El agregado fino: Se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.
- El agregado grueso: Es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

Esta es una acción que responde a consideraciones de tipo práctico, ya que, las técnicas de procesamiento de los agregados (zarandeo, chancado) propenden a

separarlos de esta manera, con el fin de poder tener un mejor control en procesamiento y empleo.

c) Por su densidad

Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal, los comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75. Cada uno de ellos marca comportamientos diversos en relación al concreto, habiéndose establecido técnicas y métodos de diseño y para cada caso.

d) Por el Origen, Forma y Textura Superficial

Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angulares. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

- Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: Bordes casi eliminados.
- Muy Redondeada: Sin caras ni bordes.

**(Pasquel. E, 2000)**

### **1.2.3.2 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS**

a) Condiciones de Saturación.

Partiendo de la condición seca hasta cuando tiene humedad superficial pudiéndose asimilar visualmente los conceptos de saturación en sus diferentes etapas.

b) Peso específico o gravedad específica

El peso específico de los agregados, que se expresan también como densidad relativa, adquiere importancia en la construcción cuando se requiere que el concreto tenga un peso límite. Además, el peso específico es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de un buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles, caso en que es recomendable efectuar pruebas adicionales.

Aplicado a los agregados, el concepto de peso específico se refiere a la densidad de las partículas individuales y no a la masa del agregado como un todo: Pudiendo definirse al peso específico como la relación, a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario del material, a la masa del mismo volumen de agua, libre de gas.

La norma ASTM C128 considera tres formas de expresión de la gravedad:

- **Peso específico de masa:** El cual es definido por la norma ASTM E-12 como la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario del material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.
- **Peso específico de masa saturado superficialmente seco:** El cual es definido como el peso específico de masa, excepto que ésta incluye el agua en los poros permeables.
- **Peso específico aparente:** el cual es definido como la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de un material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

En las determinaciones del peso sólido y el volumen absoluto, así como en la selección de las proporciones de la mezcla, se utiliza el valor del peso específico de masa.

- Ensayos: La norma ASTM C128 indica el procedimiento para determinar el peso específico del agregado fino. La norma ASTM C127 indica el procedimiento para determinar el peso específico del agregado grueso. propiedades físicas de los agregados.

#### c) Peso unitario

Se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Generalmente se expresa en kilos por metro cúbico del material. Este Valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y. en el caso de dosificarse el concreto por volumen. El peso unitario está influenciado por:

- Su gravedad específica.
- Su granulometría.
- Su perfil y textura superficial.
- Su contenido de humedad.
- Su grado de compactación de masa.

El peso unitario varía con el contenido de humedad. En el agregado grueso incrementos en el contenido de humedad incrementado el peso unitario. En el agregado fino incrementos más allá de la condición de saturado superficialmente seco pueden disminuir el peso unitario debido a que la película superficial de agua origina que las partículas estén juntas facilitando la compactación con incremento en el volumen y disminución del peso unitario.

- Ensayos: La determinación del peso unitario de los agregados, ya sea suelto o compactado, se efectúa de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C29.

#### d) Porcentaje de vacíos

Con respecto a la masa del agregado, el término "vacíos" se refiere a los espacios no ocupados entre las partículas del agregado. Puede decirse que este valor es la

diferencia entre volumen bruto o volumen total de la masa del agregado el espacio realmente ocupado por las partículas.

Cuanto mayor es el peso unitario, para una gravedad específica dada, menores el contenido de vacíos. Igualmente, si el agregado está compuesto de partículas de textura superficial suave y perfil redondeado, para una granulometría determinada, deberá contener menor cantidad de vacíos que otro agregado de idéntica granulometría pero compuesto de partículas de textura rugosa y perfil angular.

- Ensayos: La determinación del precio unitario de los agregados, ya sea suelto o compactado, se efectúa de acuerdo a lo indicado en la norma ASTM C29.

#### e) Absorción

Es la capacidad de los agregados de llenar con agua los vacíos al interior de las partículas. El fenómeno se produce por capilaridad, no llegándose a llenar absolutamente los poros indicados pues siempre queda aire atrapado. Tiene importancia que se refleja de concreto reduciendo el agua de mezcla, con influencias en las propiedades resistentes y en la trabaja habilidad, por lo que es necesario tenerla siempre en cuenta para hacer las correcciones debidas.

- Ensayos: La determinación de Absorción de los agregados, ya sea suelto o compactado, se efectúa de acuerdo a lo indicado en las normas ASTM C127 y 128.

#### f) Porosidad

Es el volumen espacios dentro de las partículas de los agregados. Tiene una gran influencia en todas las demás propiedad de los agregados, pues es representativa de la estructura interna de las partículas.

No hay un método estándar en ASTM para evaluarla, sin embargo, existen varias formas de determinación por lo general complejas y cuya validez es relativa. Una manera indirecta de estimar la es mediante la determinación de la absorción, queda un orden de magnitud de la porosidad normalmente un 10% menor que la real, ya

que como se ha indicado, nunca llegan a saturarse completamente todos los poros de las partículas.

Los valores usuales en agregados normales pueden oscilar entre 0 y 15% aunque por lo general el rango común es del 1 al 5%.

#### g) Humedad

Es la cantidad de agua superficial retenida de en un momento determinado por las partículas agregado. Es una característica importante pues contribuye a incrementar el agua de mezclar en el concreto, razón por la que se debe tomar en cuenta conjuntamente con la absorción para efectuar las correcciones adecuadas en las proporciones de las mezclas, para que se cumplan las hipótesis asumidas. Los cálculos la de humedad lo da la norma ASTM C566.

#### h) Granulometría

Define como granulometría a la distribución por tamaños de las partículas de los agregados. Ello se logra separando el material por procedimientos mecánicos empleando tamices de aberturas cuadradas determinadas. A esto se le denomina análisis granulométrico o granulometría, que es la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños.

Los valores agregados se representan gráficamente en un sistema ordenado semi-logarítmico que permite apreciar la distribución acumulada. Cuando se representa la distribución granulométrica de la mezcla de los agregados de pesos específicos que no difieren mucho, la granulometría es prácticamente igual sea la mezcla en peso o en volumen absoluto, pero cuando se trata de agregados de pesos específicos muy diferentes, hay que hacer las comparaciones a volumen absoluto para que se representa realmente la definición volumétrica que es la que interesa por el elaboración del concreto.

Las series de mallas, y seis estándar ASTM para concreto tiene la particularidad de que empieza por la malla cuadrada de 3" la siguiente es igual a la mitad del anterior.

A partir de la malla 3/8" se mantiene la misma secuencia, pero el nombre de las mallas establece en función del número de aberturas por pulgada cuadrada.

Otro concepto importante que debemos tomar en cuenta es el del Tamaño Máximo, que en términos generales es menor tamiz por el que pasa todo el agregado tamizado. Se define operativamente como Tamaño Máximo Nominal (TMN) el correspondiente al menor tamiz que produce el primer retenido. En la tabla N° 8, correspondiente a los anexos, se muestran los valores de las mallas estándar

**(Cachay. R, 2004)**

i) Módulo de Fineza

En la búsqueda de caracterizaciones numéricas que representaran la distribución volumétrica de las partículas de los agregados, se definió hace muchos años al módulo de fineza.

Es un concepto sumamente importante establecido por Duff Abrams en el año 1925 y se define como la suma de los porcentajes retenidos acumulativos de la serie estándar hasta el tamiz N°100 y esta cantidad se divide entre 100. El sustento matemático del módulo de fineza, reside en que es proporcional al promedio logarítmico del tamaño de partículas de una cierta distribución granulométrica.

Debe tenerse muy claro que su criterio que se aplica tanto al agregado grueso como al agregado fino, pues es general y sirve para caracterizar cada agregado independientemente con la mezcla de agregados en conjunto.

La base experimental que apoya al concepto del módulo de fineza es que es que granulometrías que tengan igual modo de fineza independientemente de la gradación individual, requieren la misma cantidad de agua para producir mezclas de concreto de similar plasticidad de resistencia, lo que lo convierte en un parámetro ideal para el diseño de control de mezclas.

**(Riva. E, 2000)**

#### **1.2.3.2.1. PROPIEDADES DE RESISTENCIA DE LOS AGREGADOS**

#### a) Calidad de los agregados

Uno de los factores que en la práctica nos vemos obligados a considerar con más frecuencia como variable, es la calidad granulométrica de los agregados, entendiendo por tal la granulometría y el tamaño máximo

Esta nueva variable, calidad granulométrica de los agregados, la podemos introducir en la siguiente forma que se muestra en la figura N° 9, mostrado en los anexos gráficos, considerando que su principal influencia es sobre las restantes variables que componen el círculo.

#### b) Resistencia

Capacidad de asimilar la aplicación de fuerzas de compresión un, corte, tracción y flexión. Normalmente se mide por medio de la resistencia en comparación con para lo cual se necesite ensayar testigos cilíndricos cúbicos de tamaño adecuado al equipo de ensayo, que se perforan o cortan de una muestra lo suficientemente grande.

La resistencia en comparación está inversamente relacionada con la porosidad y la absorción y directamente con el peso específico. Agregados normales con peso específico entre 2.5 y 2.7, tienen resistencia en compresión del orden de 750 a 1200 Kg/cm<sup>2</sup>. Los agregados ligeros con peso específico entre 1.6 y 2.5, usualmente manifiestan resistencias de 200 a 750 Kg/cm<sup>2</sup>.

#### c) Tenacidad

Se denomina así en general a la resistencia al impacto. Está más relacionada con la sollicitación en flexión que en comparación, así como con la angulosidad y la aspereza de la superficie.

Tiene trascendencia en las propiedades del concreto ante impactos, que son importantes en términos prácticos, al momento de evaluar las dificultades en el procesamiento porque anclados del material. Su estimación es más cualitativa que cuantitativa.

#### d) Dureza

Es la resistencia al desgaste por la acción unas partículas sobre otras o por agentes externos. Agregados con altos valores de desgaste al abrasión (mayores a 50%) producción concretos con características resistentes inadecuadas en la mayoría de casos.

**(Riva. E, 2000)**

#### **1.2.3.2.2. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS AGREGADOS**

Condicionan el comportamiento de los agregados ante el efecto del gradiente de temperatura. Estas propiedades tienen importancia básica del concreto pues el calor de hidratación generado por el cemento, además de los cambios térmicos ambientales que actúan sobre los agregados provocando dilataciones, expansiones retención por disipación de calor según sea el caso.

Las propiedades térmicas están afectadas por la condición de humedad de los agregados, así como por la porosidad, por lo que sus valores son bastante variables.

#### **1.2.3.3. AGREGADO FINO**

Se define como delegado fino aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz ASTM estándar de 3/8" y cumple con los límites establecidos en las normas NTP 400.037 o ASTM C33.

##### a) Requisitos

El agregado podrá consistir en arena natural o manufacturada o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfiles preferentemente angulares, duros, compactos y resistentes, libre de polvo, partículas escamosas, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas para el concreto.

##### b) Granulometría

El agregado será gradado dentro de los índices indicados en las normas NTP 400.037 o ASTM C33. Los límites ASTM para el agregado fino se muestran en la tabla 2.6.



**Fig. 1.19: Agregado fino.**  
Fuente: Propia.

Preferentemente el módulo de fineza no deberá ser menor que 2.3 ni mayor que 3.1 debiendo ser mantenido dentro de los límites de más o menos 0.2 del valor asumido para la selección de las proporciones de la mezcla.

c) Partículas Inconvenientes

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado fino no deberá exceder de los siguientes límites:

- Partículas de arcilla y partículas desmenuzables.....3%
- Material más fino que la Malla N°200:
- Concretos sujetos a abrasión.....3%
  - Otros concretos.....0.5%

Carbón:

- Cuando la apariencia superficial del concreto es  
Importante.....0.5%
- Otros Concretos.....1%

**1.2.3.4 AGREGADO GRUESO**

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz N° 4 y que cumple con los límites establecidos por la norma ASTM C33.



**Fig. 1.20: Agregado grueso.**  
Fuente: Propia.

a) Requisitos

El agregado grueso puede consistir de piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, concreto triturado, o una combinación de ellos. Estará conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o

semi-angular, limpias, duras, compactas, resistentes, de textura preferentemente rugosa, libres de material escamoso o partículas blandas.

#### b) Granulometría

El agregado grueso de estará graduado dentro de los límites especificados en las normas NTP 400.037 o ASTM C33, los límites ASTM. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberán cumplir en obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación de la mezcla. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa por la malla de 1/4".

#### c) Tamaño máximo

De acuerdo a la norma NTP 400.037 el tamaño máximo del agregado grueso es el que corresponde al menor tamiz por el que pasan la muestra de agregado grueso. Granulometrías muy disímiles pueden dar el mismo Valor del tamaño máximo del agregado grueso. Ello debe tenerse presente en la selección del agregado, de su granulometría y las proporciones de la mezcla, mostrado en la tabla 2.5.

#### d) Tamaño máximo nominal

De acuerdo a la norma NTP 400.037 se entiende por tamaño máximo nominal al que corresponde menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido. El tamaño máximo nominal del agregado no deberá ser mayor de:

- Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrados.
- Un tercio del peralte de losas.
- Tres cuartos el espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales, paquetes de barras, tendones, conductos de pre-esfuerzo.

#### e) Partículas Inconvenientes

El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado grueso no deberá exceder de los siguientes valores:

- Arcilla .....0.25%
- Partículas deleznales.....5.00%
- Material más fino que pasa la malla N° 200.....1.00%

Carbón y lignito:

- Cuando el acabado superficial del concreto es de importancia.....0.50%
- Otros concretos.....1.00%

El agregado grueso cuyos límites de partículas perjudiciales excedan a los indicados, podrá ser aceptado siempre que en un concreto preparado con agregado de la misma procedencia; haya dado un servicio satisfactorio cuando ha estado expuesto de manera similar al estudiado; o en ausencia de un registro de servicios siempre que el concreto preparado con el agregado tenga características satisfactorias, cuando es ensayado en el laboratorio.

**(Riva. E, 2000)**

#### **1.2.4 ADITIVOS PARA EL CONCRETO**

El aditivo es definido, tanto por el Comité 116R del American Concrete Institute (ACI) como por la Norma ASTM C 125, como «un material que no siendo agua, agregado, cemento hidráulico, o fibra de refuerzo, es empleado como un ingrediente del mortero o concreto, y es añadido a la tanda inmediatamente antes o durante su mezclado».

Los aditivos son materiales utilizados como componentes del concreto o el mortero, los cuales se añaden a éstos durante el mezclado a fin de:

- Modificar una o algunas de sus propiedades, a fin de permitir que sean más adecuados al trabajo que se está efectuando.
- Facilitar su colocación.
- Reducir los costos de operación.

En la decisión sobre el empleo de aditivos debe considerarse en qué casos:

- Su utilización puede ser la única alternativa para lograr los resultados deseados.
- Los objetivos deseados pueden lograrse, con mayor economía y mejores resultados, por cambios en la composición o proporciones de la mezcla.
- Su uso está supeditado a la evaluación del residente, contratista y supervisor de la obra en ejecución.
- Durante la ejecución de cierta obra, deberá tomarse en cuenta las pruebas y muestras para ser comprobadas en laboratorio.

#### **1.2.4.1. CONDICIONES DE EMPLEO**

Los aditivos utilizados deberán cumplir con los requisitos de las Normas ASTM correspondiente.

Su empleo deberá estar indicado en las especificaciones del proyecto, o ser aprobado por la Supervisión.

El empleo de aditivos incorporadores de aire es obligatorio en concretos que, en cualquier etapa de su vida, pueden estar expuestos a temperaturas ambiente menores de 0°C. En otros casos, el empleo de estos aditivos sólo es obligatorio cuando puede ser la única alternativa para lograr los resultados deseados.

El empleo de aditivos no autoriza a disminuir el contenido de cemento seleccionado para la unidad cúbica de concreto.

#### **1.2.4.2. RAZONES DE EMPLEO**

Entre las principales razones de empleo de aditivos, para modificar las propiedades del concreto no endurecido, se puede mencionar:

- Reducción en el contenido de agua de la mezcla.
- Incremento en la trabajabilidad sin modificación del contenido de agua.
- Reducción, incremento o control del asentamiento.
- Aceleración o retardo del tiempo de fraguado inicial.
- Modificación de la velocidad y/o magnitud de la exudación.
- Reducción o prevención de la segregación; o desarrollo de una ligera expansión.
- Mejora en la facilidad de colocación y/o bombeo de las mezclas.

Entre las principales razones de empleo de los aditivos para modificar las propiedades de los concretos, morteros o lechada endurecidos se puede mencionar:

- Retardo en el desarrollo del calor de hidratación o reducción en la magnitud de éste durante el endurecimiento inicial.
- Aceleración en la velocidad de desarrollo de la resistencia inicial y/o final del concreto y en el incremento de la misma.
- Incremento en la durabilidad, incluyendo su resistencia a condiciones severas de exposición.
- Disminución de la permeabilidad del concreto.
- Control de la expansión debida a la reacción álcali agregados.
- Incremento en las adherencias acero-concreto; y concreto antiguo concreto fresco.
- Incremento en las resistencias al impacto y/o la abrasión.
- Control de la corrosión de los elementos metálicos embebidos en el concreto.

- Producción de concretos o morteros celulares.
- Producción de concretos o morteros coloreados.

### **1.2.4.3. CONSIDERACIONES EN EL EMPLEO DE ADITIVOS**

Los aditivos deben cumplir con los requisitos de las Normas seleccionadas y las especificaciones de obra, debiendo prestarse especial atención a las recomendaciones del fabricante y/o distribuidor del aditivo.

Las siguientes Normas ASTM cubren los tipos o clases de aditivos de uso corriente:

- Aditivos incorporadores de aire ASTM C260
- Aditivos reductores de agua y controladores de fragua ASTM C494
- Cloruro de Calcio ASTM D98

Los aditivos deben emplearse después de una evaluación de sus efectos en mezclas preparadas con los materiales a ser utilizados bajo condiciones similares a las de obra, Esta: evaluación es especialmente importante en los siguientes casos:

- El aditivo no ha sido previamente empleado con la combinación de materiales a ser empleados en obra.
- Se especifica tipos especiales de cemento y/o se ha de emplear más de un tipo de aditivo.
- Los procesos de mezcla y colocación del concreto se han de efectuar a temperaturas que están fuera del rango de temperaturas de concretado normalmente utilizadas.

### **1.2.4.4. CONSIDERACIONES ECONÓMICAS**

La determinación del mayor costo del concreto debido al empleo de aditivos deberá basarse en los resultados obtenidos en concretos preparados en condiciones; similares a aquellas que se espera en obra. Este estudio es fundamental cuando las

características del concreto y los resultados obtenidos están directamente relacionados con:

- Las propiedades de los materiales empleados en la mezcla.
- Sus proporciones relativas en ésta.
- La temperatura y humedad relativas ambientes.
- Las condiciones de curado

Al evaluar la posibilidad de emplear un aditivo determinado debe considerarse su efecto sobre el volumen de la tanda; así como las posibles modificaciones en el rendimiento, a fin de poder determinar las causas reales de la variación de las propiedades y el costo de dicha variación.

Si el empleo de un aditivo produce cambios en la cantidad o características de los materiales empleados en la preparación del concreto, éste efecto debe ser considerado cuando se evalúa la acción del aditivo, los beneficios resultantes, y los mayores costos debidos a su empleo.

#### **1.2.4.5. CLASIFICACIÓN**

Una clasificación de aditivos en función de sus efectos no es fácil debido a que ellos pueden ser clasificados genéricamente o con relación a los efectos característicos derivados de su empleo; pueden modificar más de una propiedad del concreto; así como a que los diversos productos existentes en el mercado no cumplen las mismas especificaciones.

En la clasificación debe considerarse que las múltiples posibilidades derivadas del empleo de aditivos; el constante desarrollo de materiales nuevos o modificaciones de los ya conocidos; y la variación de los efectos con los diferentes materiales integrantes del concreto, son factores que impiden presentar una clasificación demasiado extensa.

De acuerdo a la Norma ASTM C 494, los aditivos se clasifican en:

- TIPO A Reductores de agua.
- TIPO B Retardadores de fragua.
- TIPO C Acelerantes.
- TIPO D Reductores de agua-retardadores de fragua.
- TIPO E Reductores de agua-acelerantes.
- TIPO F Súper Reductores de Agua.
- TIPO G Súper Reductores de agua-Acelerantes.

(Pasquel. E, 2000)

### 1.3 CONCRETO PERMEABLE

#### 1.3.1 DEFINICIÓN

El concreto permeable contiene agregados gruesos con granulometría estrecha, con poco o ningún fino, e insuficiente pasta de cemento para rellenar los vacíos entre las partículas de agregado grueso. Este concreto de baja relación agua-cemento y bajo revenimiento (asentamiento), que se parece con palomitas de maíz, se mantiene unido por la pasta de cemento en los puntos de contacto del agregado grueso. El concreto producido posee un alto contenido de vacíos (10% a 35%) y alta permeabilidad, permitiendo que el agua fluya a través de él fácilmente.



Fig. 1.21 Vigas de concreto permeable.  
Fuente: Propia.

El concreto poroso se usa en estructuras hidráulicas como medio de drenaje, y en áreas de parqueo, pavimentos y pistas de despegue para reducir el escurrimiento del agua pluvial. También recarga el abastecimiento local del agua freática, pues permite que el agua penetre a través del concreto hasta el terreno bajo. El concreto poroso también se ha utilizado en canchas de tenis e invernaderos. Como material de pavimentación, el concreto poroso se revuelve o se moldea en la obra con equipos convencionales de pavimentación y después se compacta con rodillos. En obras pequeñas, se pueden utilizar plantillas vibratorias o rodillos manuales. Las superficies de concreto poroso no se deben cerrar o sellar, a fin de que se mantengan sus propiedades y, por lo tanto, se debe evitar su alisado o acabado. La resistencia a compresión de mezclas diversas varía de 35 a 280 kg/cm<sup>2</sup> o 3.5 a 27.5 MPa (500 a 4000 lb/pulg<sup>2</sup>). Las tasas de drenaje varían de 100 a 900 litros por minuto por metro cuadrado (2 a 18 galones por minuto por pie cuadrado).

#### **(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

##### **1.3.2 MARCO HISTÓRICO DEL CONCRETO PERMEABLE**

Los Inicios del concreto permeable se revocan al año de 1852, el concreto permeable fue usado por primera vez en la construcción de dos casas en el Reino Unido. Este concreto consistía en sólo grava gruesa y cemento. En el año de 1923 se construyó un grupo de 50 casas de dos pisos; las cuales fueron construidas con Clinker y agregado de Edimburgo, Escocia, dichos materiales de construcción tenían propiedades permeables. A finales de 1930, se continuó empleando el concreto permeable en Escocia, en viviendas Especiales adoptando el uso de concreto permeable para la construcción de las mismas.

Del mismo modo, en Europa, entre 1945 y 1956, muchas casas fueron construidas con concreto permeable. Esto fue principalmente debido a la cantidad limitadas de agregados duros y la ausencia de buenos ladrillos. Antes de la Segunda Guerra Mundial, la producción de concreto permeable se limita a casas de dos pisos. En 1946, el concreto permeable fue utilizado para una gama mucho más amplia de aplicaciones. La primera notificación del uso del concreto permeable en Australia fue en 1946

Con los años, el concreto permeable se ha aplicado sustancialmente en la producción de nuevas casas en el Reino Unido, Alemania, Holanda, Francia, Bélgica, Escocia, España, Hungría, Venezuela, al Norte de África, el Medio Oriente, Australia y Rusia.

Alemania utilizó esta clase de concreto, ya que después de la segunda guerra mundial era difícil la eliminación de escombros, la excesiva cantidad de escombros permitió el uso de los mismos, teniendo como resultado una especie de concreto permeable, ello llevó a la determinación de la propiedad principal tal concreto que es la capacidad de filtrar agua.

Una de las razones del uso limitado del concreto permeable en América es que, después de la Segunda Guerra Mundial, América del Norte no se manifestó a gran escala los escasos de materiales como Europa, por lo tanto en Europa se vio descubierto esta clase de concreto, pero no se llevó a cabo una investigación de ello.

En 1960 se reportó el primer uso de concreto permeable en Canadá utilizado en la construcción de algunas casas en Toronto. También se utilizó en un edificio federal en Ottawa para su base estructural.

Seguidamente se retomó la investigación de los pisos y pavimentos permeables en la ciudad de México en el año 1994 donde han sido utilizados con éxito.

En los Estados Unidos se usó el concreto permeable desde 1999, sometido a diferentes condiciones climáticas, llegando a ser los pioneros en la creación de Normas que estandaricen la aplicación y el uso del concreto permeable concreto. En el año 2002 el comité ACI "American Concrete Institute", manifestó los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en la ciudad Florida en la cual se aplicó concreto permeable en Bermas y Estacionamiento, reduciendo significativamente el volumen de escorrentía en las calles y estacionamiento que generan las precipitaciones, dando a conocer su resultado en la Norma ACI 522R-02. Posteriormente se realizaron más investigaciones sobre el concreto permeable, los cuales se publicaron en la editorial del año 2006 de la Norma ACI 522R-06. De la

misma forma en el año 2009 la asociación “American Society for Testing and Materials” (ASTM) creó una forma para medir la tasa de infiltración de un pavimento de concreto permeable plasmando sus resultados en la Norma ASTM 1701.

En los últimos 20 años, el concreto permeable ha sido empleado en gran medida en los Estados Unidos, sobre todo en Florida, Uta, Nuevo México y algunos otros estados, principalmente en pavimentos.

En el Perú a la fecha no hay muchas investigaciones acerca de este tema. Y en lo que concierne a nuestra región Arequipa hemos podido consultar 2 tesis, uno de los compañeros de la UNSA y el otro de un compañero de nuestra universidad UCSM.

### **1.3.3 IMPORTANCIA DEL CONCRETO PERMEABLE**

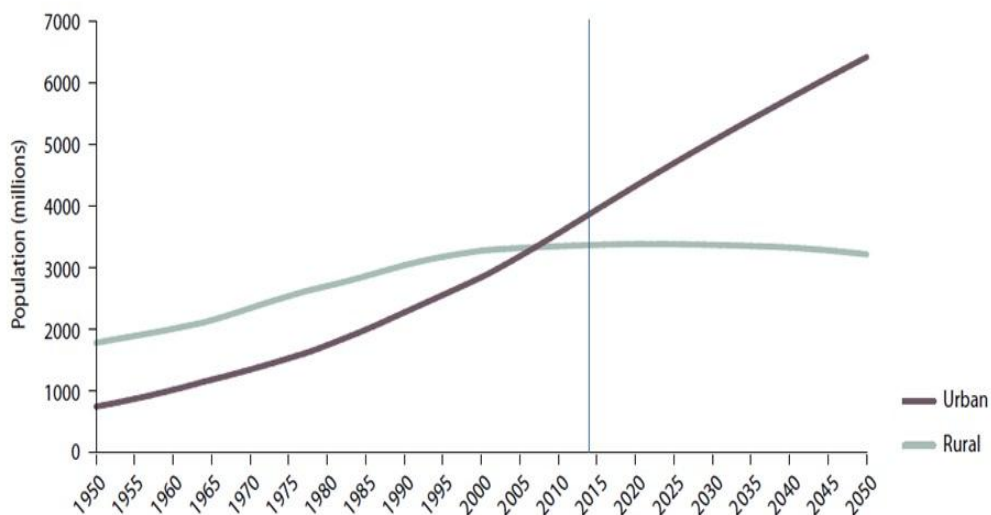
Nuestro planeta Tierra corre peligro debido a cambios climáticos severos. El incremento de la población junto con la urbanización ha creado problemas sin precedentes en nuestras ciudades. A menos que tomemos medidas urgentes, estos problemas tendrán consecuencias serán catastróficas. Esto se agrava por la pavimentación despreocupada de caminos, plataformas y áreas que rodean las edificaciones con concreto impermeable, lo que da como resultado fugas e inundaciones de la precipitación de agua de lluvia, causando problemas de escorrentía y dañando. Aunque algunos gobiernos han implementado estrictas medidas de recolección de agua de lluvia, estas medidas tienen algunos inconvenientes. Los pavimentos de concreto permeable ofrecen una solución atractiva a la fuga de agua y a los problemas asociados de contaminación de agua.

En la Actualidad se percibe, un aumento significativo en la población lo que ocasiona el aumento tanto en viviendas y ello lleva a la construcción de más viviendas para abastecer las necesidades habitacionales, desapareciendo de ese modo las superficies naturales que permiten la permeabilidad del suelo. Otra problemática que se deriva del crecimiento poblacional es la necesidad de abastecimiento de agua lo que conllevará a maximizar la explotación del recurso hídrico, por lo tanto se debe optimizar al máximo los recursos de agua que se pueden obtener, una de las soluciones que se le puede dar al problema es el agua que se deriva de la

precipitación, la cual puede volver a los mantos acuíferos mediante superficies permeables, aumentando así el nivel freático

#### a) Aumento Población

De acuerdo al reporte de las Naciones Unidas, Perspectivas de Urbanización Mundial (2007), el siglo 20 es testigo de 'la rápida urbanización de la población mundial.' La proporción global de la población mundial se elevó enormemente de 13% (220 millones) en 1900, a 29% (732 millones) en 1950, y 49% (3.2 billones) en 2005. El mismo reporte proyecta que se espera que aproximadamente 60% (4.9 millones) de la población mundial vivirá en ciudades hacia el año 2030 (Ver Grafica 1.1.) En 1950, había solo dos mega ciudades de 10 millones o más habitantes. El número de mega ciudades se incrementó a 5 en 1975 y a 20 en 2005 y se espera que se incremente a 22 mega ciudades en 2015. Solo en India el porcentaje de población urbana se incrementó de 18.0 en 1961 a 27.8 en 2001. Se proyecta que Asia y África tendrán más personas viviendo en ciudades que cualquier otro continente en el mundo, y Asia tendrá el 54 por ciento de la población hacia 2030.



**Fig. 1.22: Población urbana y rural del mundo, 1959-2030.**  
Fuente: Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División Población.

El crecimiento de la población junto con la urbanización tiene un impacto significativo en el medio ambiente y en otros problemas, que incluyen:

- 1) Aumento en la temperatura ambiental.
- 2) Disminución de la calidad del aire.
- 3) Aumento de fuga de agua.
- 5) Patrones alterados del clima.
- 6) Pérdida de la belleza estética/carácter de la comunidad.
- 7) Reducción de los terrenos de siembra y la consecuente escasez de alimentos.
- 8) Deforestación (la deforestación está ocurriendo a un paso muy rápido, con 0.8 hectáreas de bosque tropical desapareciendo cada segundo. La deforestación está ligada a consecuencias ambientales negativas tales como pérdida de biodiversidad, calentamiento global, erosión del suelo y desertificación).

**(Subramanian, 2007)**

*En este documento nos centraremos en uno de los problemas, es decir, escasez de agua y reducción de fugas.*

b) Insuficiencia y escasez de agua

Aproximadamente 97.5% del agua sobre la Tierra es agua salada, lo que solo deja el 2.5% como agua fresca, de la cual dos tercios está congelada en los glaciares y las capas de hielo polar que también se están derritiendo rápidamente debido al cambio climático. (Los científicos del Centro de Información sobre Hielo y Nieve en Boulder, Colorado han predicho que el Polo Norte podría quedarse sin hielo por un breve tiempo hacia Setiembre 2008.) El resto del agua fresca sin congelar se halla como agua subterránea, con solo una pequeña fracción presente sobre la tierra o en el aire. El agua fresca es un recurso renovable, aun así el suministro de agua fresca limpia del mundo está disminuyendo constantemente. La población no sólo está creciendo sino que está usando más agua mientras que el suministro total del mundo permanece siendo el mismo. Desde 1900, la población del mundo se ha duplicado pero la cantidad de agua fresca utilizada se ha incrementado seis veces.

La agricultura es de lejos el mayor consumidor de agua, principalmente debido a la expansión de la irrigación. El área irrigada ha expandido casi cinco veces su tamaño en este siglo.

#### c) Bajo Alta Precipitaciones

Otro Problema que se puede tomar en cuenta es que cuando se presentan lluvias de alta intensidad las obras de drenaje vial no son suficientes para evacuar la cantidad de agua, esto provoca estanquidad en las obras viales lo que con lleva a su deterioro temprano.

### **1.3.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE**

Las diversas propiedades de resistencia del concreto permeable dependen del contenido de cemento, la relación agua-cemento, el nivel de compactación y la calidad y graduación del agregado. El concreto permeable tiene generalmente las siguientes propiedades.

#### **1.3.4.1 REVENIMIENTO 0 – 2 MM**

Es un Concreto que se caracteriza por poseer bajo revenimiento debido a la baja relación agua cemento que este posee, y por el hecho de no hacer uso de fino, no se caracteriza por ser un concreto muy fluido.



Fig. 1.23: Concreto con bajo revenimiento.  
Fuente: Propia.

#### 1.3.4.2 PESO UNITARIO

El concreto convencional, empleado normalmente en pavimentos, edificios y en otras estructuras convencionales tiene que tener un peso unitario dentro del rango de 2,240 y 2,400 kg por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ). El peso unitario (densidad) del concreto varia, dependiendo de la cantidad y de la densidad relativa del agregado, de la cantidad del aire atrapado o intencionalmente incluido, y de los contenidos de agua y de cemento, mismos que a su vez se ven influenciados por el tamaño máximo del agregado. Para el diseño de estructuras de concreto, comúnmente se supone que la combinación del concreto convencional y de las barras de refuerzo pesa  $2400 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Además del concreto convencional, existe una amplia variedad de otros concretos para hacer frente a diversas necesidades, variando desde concretos aisladores ligeros con pesos unitarios de  $240 \text{ kg}/\text{m}^3$ , a concretos pesados con pesos unitarios de  $6400 \text{ kg}/\text{m}^3$ , que se emplean para contrapesos o para blindajes contra radiaciones.

En el caso del concreto permeable en vista de poseer un porcentaje significativo de vacíos la cual oscila entre el 18% y 35% según Norma ACI 522 y otros documento anexos, posee una densidad menor a los concreto convencionales siendo un

aproximado de 1600kg/m<sup>3</sup> y 200kg/m<sup>3</sup>, la cual es ideal para aplicar en pavimentos de baja intensidad.

#### 1.3.4.3 TIEMPO DE FRAGUADO

Cuando el cemento y el agua entran en contacto, se inicia una reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de la mezcla. Dentro del proceso general de endurecimiento se presenta un estado en que la mezcla pierde apreciablemente su plasticidad y se vuelve difícil de manejar; tal estado corresponde al fraguado inicial de la mezcla. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.



Fig. 1.24: Concreto en tiempo de fraguado.  
Fuente: Propia.

El tiempo aproximado de fraguado del concreto permeable es aproximadamente una hora, ello según investigaciones realizadas.

#### 1.3.4.4 POROSIDAD

La porosidad de la pasta de cemento es la suma del volumen de los huecos capilares y de los huecos de la pasta, y representa el espacio no llenado por los componentes sólidos de la pasta de cemento hidratado.



Fig. 1.25: Porosidad del concreto.  
Fuente: Propia.

La porosidad del concreto (P) o total de huecos en el material compuesto, se ha modelado como una función de: (a/c) la relación agua/cemento, el grado de hidratación del cemento (h), el volumen de aire atrapado (A), las cantidades de agregados fino (arena, Af) y grueso (grava, Ag), y del cemento (c); y las gravedades específicas de los agregados ( $\rho_f$  y  $\rho_g$ ).

Según el manual de pavimentos permeables del cemento portland FCPA, "Portland Cement Pervious Pavement Manual", el rango es de porosidad es del 10 al 30 % y según ACI 522 R es del 15 al 35 %.

#### 1.3.4.5 PERMEABILIDAD

La permeabilidad es una propiedad que permite la filtración de un fluido, a través de sus espacios interconectados.

Un material será permeable cuando contenga espacios vacíos interconectados (porosidad). La circulación de agua a través de una masa (suelo, pasta de cemento, agregado, concreto, etc.), obedece también aproximadamente a leyes idénticas, de modo que la diferencia entre una arena limpia y un granito sano es, en este concepto, solo una diferencia de magnitud.

En el Caso del Concreto Permeable, la facultad que este posee de filtrar agua a través del es la característica por la cual lleva su nombre “Concreto Permeable”

Permitiendo de ese modo el paso del agua, a través de los poros interconectado que este posee y de esa manera eliminar la escorrentía y problemas de saturación de agua en la rasante del pavimento, y así tener la capacidad de alimentar los mantos acuíferos. Según la Norma del Comité ACI 522R la capacidad filtrante va del rango de 80lt/min/m<sup>2</sup> – 730 lt/min/m<sup>2</sup> dependiendo de la cantidad de vacíos que este posea.

La permeabilidad es uno de los ensayos más importantes de esta investigación, porque va permitir conocer un parámetro muy importante que es el coeficiente de permeabilidad, el cual caracteriza a nuestro concreto poroso, para determinar este coeficiente se usa un “PERMEÓMETRO DE CARGA VARIABLE”.

(ACI 522R-10, 2011)



Fig. 1.26: Ensayo de permeabilidad del concreto.  
Fuente: Propia.

#### 1.3.4.6 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN

Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas son expuestos a abrasión o al desgaste, por lo que en estas aplicaciones el concreto necesita tener alta resistencia a abrasión. Los resultados de los ensayos indican que la resistencia a abrasión está fuertemente relacionada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto

con mayor resistencia a compresión tiene más resistencia a abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión.

Como la resistencia a compresión depende de la relación agua-cemento y curado, una relación agua-cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a abrasión. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento usado también tienen gran influencia sobre la resistencia a abrasión. Un agregado duro es más resistente a abrasión que un agregado más blando y una superficie acabada con llana de metal resiste mejor al desgaste que una superficie que no ha sido alisada.

**(PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA) – 2004)**

#### **1.3.4.7 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA O SPLIT TEST**

La resistencia a la tensión indirecta es un ensayo que sirve también para definir la calidad del hormigón, su calidad se determina al final por la correcta adherencia que se produce en la pasta porosa, este ensayo nos permite imitar la respuesta de un pavimento flexible y obtener la carga máxima que aguanta una mezcla antes de romper.



Fig. 1.27: Probeta sometida a tensión indirecta.  
Fuente: Propia.

Este ensayo consiste en cometer a compresión diametral una probeta cilíndrica, igual a la definida en el ensayo Marshall, aplicando una carga de manera uniforme a lo largo de 2 líneas o generatrices opuestas hasta alcanzar la rotura, esta configuración de carga provoca un esfuerzo de tracción relativamente uniforme en todo el diámetro del plano de carta vertical diametral.

**(ASTM\_C496, 2011)**

#### **1.3.4.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del concreto, en este ensayo se determinan la resistencia de un material o su deformación ante un esfuerzo de compresión para definir la carga que resiste.

Se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, y se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ , MPa y con alguna frecuencia en  $\text{lib/plg}^2$  (psi).

**(ASTM\_C39, 2002)**

Según el reporte **(ACI 522R\_10)**, la resistencia a compresión típica en pavimentos de concreto permeable de tránsito liviano es del orden de  $175 \text{ kg/cm}^2$ , sin embargo se pueden desarrollar resistencias hasta de  $285 \text{ kg/cm}^2$ . La resistencia a compresión está influenciada por los materiales componentes, el esfuerzo de compactación y por el contenido de vacíos.



**Fig. 1.28: Probeta sometida a compresión.**  
Fuente: Propia.

#### **1.3.4.9 CONTENIDO DE AIRE / UNIDAD DE PESO**

El contenido de aire o vacío se calcula por el método gravimétrico método (ASTM C 138) como el porcentaje de aire, y está directamente relacionada con el unidad de peso de una mezcla dada del concreto permeable. El contenido de aire depende de varios factores entre ellos; Graduación del Agregado, el contenido material de

cementante,  $w / cm$ , y esfuerzo de compactación. El esfuerzo de compactación tiene una influencia sobre el contenido de aire (y unidad de peso relacionado) de una mezcla dada del concreto permeable.

**(Meininger 1988).**

#### **1.3.4.10 DURABILIDAD**

Durabilidad del concreto permeable se refiere a la vida de servicio bajo las condiciones ambientales. Los efectos físicos que pueden influir negativamente en la durabilidad del concreto incluyen la exposición a temperaturas extremas y los productos químicos tales como sulfatos y ácidos. No se han realizado investigaciones sobre la resistencia de concreto permeable a un ataque agresivo de sulfato de rodamiento o agua ácida.

#### **1.3.4.11 ABSORCIÓN ACÚSTICA**

Debido a la presencia de un gran volumen de poros interconectados de tamaños considerables en el material el concreto permeable es altamente eficaz en la absorción acústica. El material puede ser empleado como un medio para reducir el ruido generado por la interacción neumático-pavimento en las aceras de concreto. El Pavimento Permeable altera la generación de ruido, reduciendo al mínimo el bombeo de aire entre el neumático y la superficie de carretera. Además, los poros pueden absorber el sonido a través de la fricción interna entre las moléculas de aire y las paredes de los poros. Para evaluar las características de absorción de sonido de concreto permeable se somete un tubo de impedancia. Las probetas cilíndricas con un diámetro de 3,75 pulgadas (95 mm) pueden ser alojados en el tubo de impedancia. La muestra es colocada dentro de un manguito cilíndrico delgado teflón, en la que se ajusta perfectamente. El conjunto de la muestra se coloca contra una rígida respaldo en un extremo del tubo de impedancia, que está equipado con una fuente de sonido. Una onda acústica plano es generado por la fuente de sonido y se propaga a lo largo del eje del tubo. Micrófonos colocados a lo largo de la longitud del tubo se utiliza para detectar la presión de la onda de sonido transmitido a la muestra y la porción de la onda que se refleja (ASTM E 1050). El coeficiente de absorción  $\alpha$

es una medida de un material de la capacidad para absorber el sonido. Un material con un coeficiente de absorción de 1,0 indica que es un material puramente absorbente, mientras que un material con un coeficiente de absorción de 0 indica que el material es puramente reflexivo. El concreto convencional típicamente tiene un coeficiente de absorción de 0,03 a 0,05. El concreto permeable tiene típicamente una absorción rango de 0,1 (para mezclas de bajo rendimiento) a casi 1 (para las mezclas con un volumen de poro óptimo). El coeficiente de absorción depende de la frecuencia de las ondas sonoras que inciden, y por lo tanto, es importante seleccionar un adecuado espesor concreto permeable a fin de minimizar sonidos de la frecuencia deseada (800 a 1200 Hz es la más objetable para el oído humano).

**(Neithalath 2004)**

### **1.3.5 APLICACIONES DEL CONCRETO PERMEABLE**

El concreto permeable se usa principalmente para pavimentar superficies de uso vehicular y peatonal, en donde se requiera tener áreas permeables que permita que el agua de lluvia se infiltre libremente al subsuelo, con lo cual es posible además la reducción o eliminación de los drenajes pluviales.

Los sitios apropiados para la colocación de concreto permeable son áreas de alta permeabilidad, suelo natural con una gran conductividad hidráulica de 7 mm/h. Además, las áreas no deberán tener pendientes mayores al 5%. El concreto permeable tiene una amplia gama de aplicaciones, incluyendo:

- Vialidades con tráfico ligero.
- Áreas de estacionamiento.
- Andadores y banquetas.
- Ciclo pistas.
- Patios y jardines.
- Capas rígidas de drenaje bajo áreas exteriores de grandes centros comerciales.

- Pisos de invernaderos para mantener al piso libre de agua estancada.
- Aplicaciones en muros estructurales en donde se requieren características de peso ligero o de mejor aislamiento térmico, o ambos.
- Pavimentos, muros, y pisos en donde se desean mejores características de absorción acústica.
- Capas de base para las calles de la ciudad, carreteras municipales, caminos particulares y aeropuertos; Capas de superficie en canchas de tenis, áreas de zoológicos, graneros y establos para animales.
- Terraplenes de puentes.
- Estructuras de playas y muros marinos (escolleras, rompeolas, pisos para muelles).
- Lechos de sedimentos de plantas para el tratamiento de aguas negras.
- Revestimiento de muros para pozos de agua;
- Zonas de lavado de autos.



a.



b.



c.

Fig. 1.29: Principales usos del concreto permeable.

Fuente:

- a. Calles y Vías con tráfico ligero (<http://www.vma-engineers.com/>).
- b. Estacionamientos (<http://www.perviousconcrete.info/pictures.htm>).
- c. Andadores ([http://www.alconcrete.org/concrete\\_products.aspx](http://www.alconcrete.org/concrete_products.aspx)).

## 1.4. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

### 1.4.1. VENTAJAS.

- El concreto permeable que es utilizado en pisos y pavimentos, además de las diversas aplicaciones ya mencionadas anteriormente, presenta grandes ventajas sobre el concreto convencional, sus beneficios no solo son económicos y estructurales ya que también ayuda al medio ambiente.
- El concreto permeable tiene muchas ventajas a diferencia de otros materiales permeables que actualmente son utilizados para cubrir el área permeable en la construcción, por ejemplo, el adopasto; se deforma por tener bases con arenas, su uso para el tránsito vehicular es limitado. En andadores, resulta incómodo ya que en el caso de calzado con tacones éstos tienden a incrustarse dañándolos o rompiéndolos, además que en una tormenta moderada alcanza a formarse una capa de agua. Los adoquines y adocretos por su sistema de bases con arena se deforman al contacto con el agua conjuntamente con las cargas que recibe.
- Las ventajas que presenta el concreto permeable sobre el concreto convencional incluyen:

- Por su función permeable en los pavimentos, no interrumpe el Ciclo Hidráulico del Agua en las ciudades, permitiendo inyectar agua pluvial a los mantos acuíferos.
- El control de la contaminación de las aguas pluviales, impidiendo que ésta se vaya por el drenaje y se mezcle con aguas negras.
- Filtra los agentes contaminadores que pueden contaminar las aguas subterráneas y dañar ecosistemas.
- Eliminación o reducción de las dimensiones de las alcantarillas de aguas pluviales.
- Control del escurrimiento de aguas pluviales.
- Por utilizar un sistema de bases con material pétreo no existen deformaciones o baches.
- Por ser un material poroso es auto-drenante y autoventilado.
- Por ser una estructura con el 10% al 35% de vacíos, no genera islas de calor como el asfalto y el concreto hidráulico.
- Evita encharcamientos y ayuda a evitar saturación en los drenajes en época de lluvias.
- Disminuye las distancias de frenado de los vehículos, especialmente en condiciones de lluvia, evita el acuaplaneo.
- Mayores facilidades para estacionamientos al eliminar la necesidad de áreas de contención de agua. Por no retener agua en su superficie existe baja probabilidad de deslumbramiento por reflexión de la luz sobre película de agua superficial, particularmente por la noche cuando están mojadas.
- Reducción del ruido de interacción entre la llanta y el pavimento.
- Posibilidad de que el aire y el agua alcancen las raíces de los árboles, aún con el pavimento dentro del canal para riego de los árboles.

- Aumenta la calidad de servicios para usuarios vehicular y peatonal, durante la lluvia, disminuyendo los riesgos de accidentes.
- No es más caro que otros pavimentos de concreto y compite con el asfalto.
- Es compatible con otros materiales usados para pavimentos con el fin de que se logren superficies permeables al combinarlo con estos pisos.
- No requiere de mano de obra especializada, ni de maquinaria sofisticada para su instalación.
- Se puede hacer en varios colores y con distintos tipos de piedra.
- Su base y sistema constructivo es más barato que los tradicionales por lo que el costo final no es más caro que otros pavimentos.
- Se puede fabricar directamente en obra mediante el uso de trompos o revolvedoras para concreto o se contrata la mezcla en plantas de premezclados de concreto.
- El índice de fisuras en el concreto permeable es 25% menor, debido a la baja retracción por el índice de vacíos contenidos en comparación a un concreto convencional.
- Su resistencia a la flexión es mejor que la del concreto hidráulico, por ello los espesores de los pisos permeables pueden ser mucho menores, con la consiguiente reducción en los costos.
- El concreto permeable tiene la capacidad de manejar las aguas pluviales al mismo tiempo que provee una infraestructura durable necesaria para el desarrollo.
- Los pavimentos permeables pueden generar un importante beneficio social, debido a la contribución de estos a mantener las condiciones naturales de una zona. La experiencia ha mostrado que, de ser así, el control de las inundaciones se consigue con mantener la red de drenaje natural, sin tener que construir grandes colectores.



Fig. 1.30: Imagen de un pavimento tradicional y pavimento permeable.  
Fuente: <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>

#### 1.4.2. DESVENTAJAS

El concreto permeable presenta algunas desventajas, como son:

- Puede perder permeabilidad con el paso del tiempo, al taparse los espacios vacíos con material fino, pigmentos y por la caída de las hojas de los árboles como se muestra en la figura 1.4, por lo que se requiere de un mantenimiento a base de agua a presión y el uso de una aspiradora.
- Tiene una menor resistencia al desgaste que el concreto convencional, por lo que solo debe colocarse en zonas de tránsito ligero.

El éxito de los sistemas de pavimento permeable ha sido variado. En algunas áreas, los sistemas de pavimento de concreto permeable se han aplicado exitosamente, mientras que en otros, se han taponado en un corto tiempo. Muchas fallas pueden atribuirse a la inexperiencia del contratista, a una compactación del suelo más alta que la especificada, y al diseño inapropiado según el sitio. Para que un pavimento de concreto permeable funcione exitosamente:

- Debe verificarse la permeabilidad de los suelos. Generalmente, se recomienda una capacidad de filtración de 13 mm/h, y una capa de suelo de 1.2 m o más. Sin embargo, ahora existen instalaciones de concreto permeable y otros materiales porosos para pavimentación en las regiones arcillosas rojizas de Piedmont en las Carolinas y en Georgia, en donde la capacidad de la infiltración en la sub-rasante es mucho menor que 13 mm/h.
- Estos pavimentos facilitan la infiltración y filtración del agua y la recarga de las aguas freáticas, aunque no infiltran toda el agua pluvial de las grandes y excepcionales tormentas.
- Debe evitarse que entren el agua pluvial y el equipo pesado de construcción al área de pavimento permeable. El pavimento de concreto permeable no debe ser puesto en servicio hasta que toda la tierra removida con pendiente hacia el pavimento permeable haya sido estabilizada por medio de vegetación. A fin de evitar la colmatación del sistema, son esenciales los controles estrictos de la erosión y de sedimentación durante las actividades de construcción o de formación de paisajes, y deben incorporarse al plan del manejo de las aguas pluviales en el sitio de la construcción.
- El tránsito de construcción (principalmente vehículos) debe ser dirigido hacia fuera del área del pavimento permeable durante su construcción para evitar la compactación de las capas del suelo subyacente y la pérdida de la capacidad de infiltración.
- El mantenimiento debe realizarse periódicamente.

## **1.4 PAVIMENTOS PERMEABLES**

### **1.4.1 DRENAJE SOSTENIBLE**

#### **1.4.1.1 DESARROLLO SOSTENIBLE**

La definición clásica de desarrollo sostenible tuvo sus inicios en 1987, *“Desarrollo sostenible, es aquel que satisface las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”* que

fue acuñada en la comisión del medio ambiente y desarrollo de la Naciones Unidas (denominada Comisión Brundtland) con el informe Nuestro Futuro Común, que repercutió en la declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo (Junio 1992), donde el principio 03 establece que *“El derecho al desarrollo debe ejercerse en forma tal que responda equitativamente a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras”*. De esta manera el desarrollo sostenible permite la armonía entre el crecimiento económico, social con el ecosistema.

A lo largo del tiempo el desarrollo sostenible avanza con la idea de preservar los recursos naturales y comprendiendo que estos son limitados. Hoy en día el medio ambiente va reaccionando ante la acción producida por la actividad humana, a partir de la revolución industrial, la actividad humana ha exacerbado e calentamiento global a través de la acumulación acelerada de GEI (Gas de Efecto Invernadero) en la atmosfera, especialmente dióxido de carbono y metano. (Vargas, junio 2009), se ha constatado que las reservas de petróleo se agotan a causa de una fuerte inversión en energía renovable y ahorro energético, el incremento de la contaminación del aire y del suelo ante los sistemas industriales y residuos sólidos, reduciendo la cantidad de agua dulce con la desaparición de nieve en los glaciares, por consiguiente el caudal y el curso de los ríos, desapareciendo lagunas naturales debido a la falta de afloramiento de las aguas subterráneas y desaparición de acuíferos.

Otro enfoque más amplio es el socio-económico, la meta no es el nivel sostenido de la producción física de un ecosistema, sino el aumento sostenido del nivel de bienestar individual y social de una determinada comunidad. El termino sustentabilidad, aplicado originalmente en un contexto biológico/físico, se traslada a un contexto socioeconómico mucho más amplio. El aspecto clave de este enfoque se encuentra en mantener el equilibrio intergeneracional: asegurar que las generaciones futuras cuenten con al menos las mismas oportunidades que las generaciones presentes.

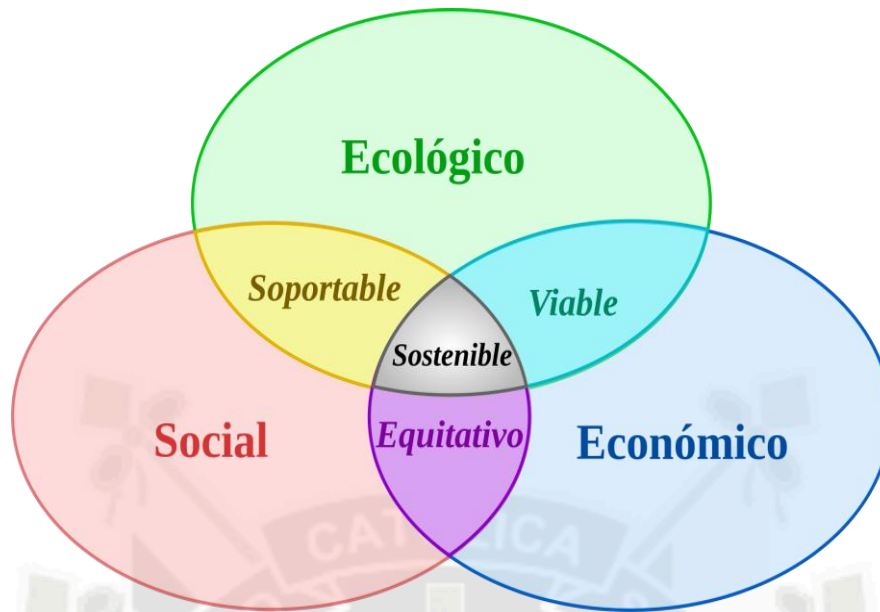


Fig. 1.31: Representación gráfica de los aspectos que involucran el desarrollo sostenible.  
fuente: <http://globalizacionamericalatina1.blogspot.pe/p/desarrollo-economico-2030.html>

Una forma de hacer operativo el concepto socio-económico de sustentabilidad ha sido propuesta por Pierce (1993) y es adoptada por el Banco mundial.

De acuerdo a esta visión, se dice que una estrategia de desarrollo es sustentable si es que en el proceso de crecimiento económico el límite de todos los activos de una sociedad se mantiene constante o se eleva a lo largo del tiempo.

Los activos de una sociedad incluyen bienes de capital tradicionales (maquinaria, fabricas, caminos y otras infraestructuras física), capital humano (conocimientos científicos y tecnológicos, así como destrezas) y finalmente capital ambiental (recursos naturales como bosques, suelos, biomasa marina, petróleo, etc., así como la calidad de recursos como el aire y agua).

**(Alberto Pascó – Font Quevedo, 1999)**

#### **1.4.1.2 CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE**

La construcción sostenible se definen como aquella que tiene especial respeto y compromiso con el medio ambiente, implica el uso eficiente de la energía, del agua, los recursos y materiales no perjudiciales para el medio ambiente, (Ramírez, 2005). La construcción sostenible dependerá de la integración con su entorno para la

formación de ciudades sin alterar el medio ambiente. Las ciudades actuales están desarrollando una construcción sostenible en los últimos tiempos de la siguiente manera:

- La presencia de áreas verdes "La vegetación abundante, tanto en el exterior como en el interior de la casa, permite disminuir los efectos de la contaminación atmosférica, los ruidos, etc. y ayudan al confort térmico, climático y de correcta humedad relativa ambiental" (Ramírez, 2005).
- Durante el proceso constructivo de una edificación se opta por la clasificación de residuos por medio del reciclaje y re-uso de materiales.
- La construcción de sistemas de almacenamiento de agua de lluvia en zona urbana para evitar que se convierta en aguas residuales innecesarias en las plantas de tratamiento.

El uso de agregados obtenidos de los derechos de demolición de estructuras de concreto brinda una oportunidad para conservar recursos no renovables. En muchas partes del mundo se han agotado los bancos naturales de agregados y el transporte de agregado en grandes distancias puede resultar mucho más costoso que el uso de agregados de bajo costo reciclados localmente. (Escalante – Ibáñez, 2006)

#### **1.4.2 TÉCNICAS DE DRENAJE SOSTENIBLE**

Las técnicas de drenaje sostenible describe las principales acciones para realizar una gestión eficiente del agua de lluvia (un recurso muy importante en estas épocas de sequía producidas por el calentamiento global) y además ver las ventajas contra los sistemas tradicionales, se tomará la clasificación que realizó el Dr. Jorge Rodríguez en su tesis Estudio, Análisis y Diseño de secciones permeables en donde muestra las distintas clasificaciones en las diferentes instituciones.

Best Management Practices (BMPs), clasifica las prácticas y mecanismos de control de la contaminación de la escorrentía superficial urbana de la siguiente forma:

- Mecanismo de Infiltración:

- Depósitos y estanques de infiltración
- Lechos, zanjas y poso de infiltración.
- Tuberías perforadas infiltración.
- Pavimentos porosos.
- Mecanismos de filtración:
  - Depósitos filtrantes.
  - Filtros de arenas y/o turba.
- Mecanismos de control por medio de vegetación:
  - Canal de drenaje de estabilización con cubierta vegetal.
  - Franjas filtrante.
- Mecanismos de detección desatado:
  - Pequeños mineros y controles especiales.
  - Estanque seco de detención extendida.
  - Estanque húmedo (depósito de retención).
  - Humedales artificiales.
  - Almacenamiento en el sistema de drenaje (en línea y/o fuera de línea).

Environmental Alliance (UK) (2001) se realiza la siguiente clasificación:

- Técnicas de control en origen:
  - Pavimentos porosos.
  - Zanjas de infiltración.
  - Depósitos infiltración.
- Sistemas de conducción permeable:

- Drenes filtrantes o franceses.
- Cunetas de hierba o cunetas verdes.
- Sistemas de tratamiento pasivo:
  - Franjas filtrantes. O depósitos de detención.
  - Estanque de retención.
  - Humedales.

En la publicación en el C523 del CIRIA (2001) (Rodríguez Hernández, 2008) se realiza una clasificación más simplificada de los SUDS:

- Superficies permeables y drenes filtrantes.
- Franjas filtrantes y cunetas verdes.
- Mecanismos de infiltración.
- Depósitos estanques.

Posteriormente, las técnicas individuales considerados por Wilson et al. (2004) (Rodríguez Hernández, 2008) para la publicación del CIRIA C609 son:

- Medidas preventivas.
- Pavimentos permeables.
- Tejados verdes.
- Bio retención.

Técnicas de filtrado:

- Franjas filtrantes con césped.
- Cunetas de hierba o cunetas verdes.
- Mecanismos de infiltración.

- Drenes filtrantes.
- Estanques y depósitos de detención.
- Almacenamiento en línea o fuera de línea.
- Separadores de aceite.
- Sistemas de tratamiento innovadores.

Una de las últimas y más completas extensiones de las BMPs para la gestión de aguas pluviales corresponde al departamento de transportes de California (Caltrans, 2007). El informe final de la división de análisis medioambiental realiza un completo repaso de 124 técnicas, algunas de ellas de marcas registradas, que han sido evaluadas en aplicaciones reales en el estado de California. Cada hoja técnica cuenta con los siguientes apartados: descripción, esquema, rendimiento de depuración de los distintos contaminantes, claves de diseño, análisis de costos, consideraciones de mantenimiento, ventajas, inconvenientes y referencias. La clasificación de las técnicas se realiza en base a once categorías básicas.

**(Rodríguez Hernández, 2008)**

- Bío retención (dos técnicas).
- Detención/sedimentación (doce técnicas).
- Desinfección (cuatro técnicas).
- Complementos de sumideros (39 técnicas).
- Filtrado (dieciocho técnicas).
- Separadores lbero dinámicos (catorce técnicas).
- Infiltración (once técnicas).
- Trampas de basura y sedimentos (seis técnicas).
- Superficies porosas (cuatro técnicas).

- Decantadores y separadores de aceite (once técnicas).
- Humedales artificiales (tres técnicas).

#### **1.4.2.1 MEDIDAS PREVENTIVAS**

Se define como cualquier actuación de base que evite que se produzcan los problemas asociados a la escorrentía superficial. Las medidas preventivas son consideradas no estructurales (EPA, 1999; Temprano et al., 1996) pues no requieren obra alguna. Según Campbell et al. (2004) las medidas preventivas pueden clasificarse en tres categorías: legislación, educación y programación económica. Por otra parte, Temprano et al. (1996) consideran que para el control de la basura en las calles son fundamentales tres puntos: una legislación adecuada, la creación de programas de educación pública y un buen servicio de recogida. Por tanto, las medidas preventivas pueden resumirse en: legislación, formación de inversión, (Rodríguez Hernández, 2008).

##### **1.4.2.1.1 LEGISLACIÓN**

El respeto a la ley, basado en la información y el cumplimiento de las sanciones, es fundamental. Desde el punto de vista legal, existen cinco formas de intervención municipal en el medio ambiente urbano (García Gil, 2007), que pueden fomentar el empleo de los SUDS:

- Regulación: ordenanza sobre medio ambiente.
- Control preventivo: licencias y otros instrumentos de control.
- Sanciones: multas y penalizaciones.
- Información: acceso libre a la información de las administraciones públicas sobre medio ambiente.
- Planeamiento urbanístico: instrumento fundamental de protección del medio ambiente urbano.

El acercamiento del agua potable a la población y el alejamiento del agua residual han sido funciones típicamente municipales desde los tiempos más remotos. Así, por ley, las aguas residuales urbanas son las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial (García Gil, 2007). Por lo tanto, hoy en día es necesario reformar el marco legal para facilitar la gestión separada de las aguas pluviales mediante la generalización del uso de SUDS, clasificando las correspondientes responsabilidades de construcción y mantenimiento.

El desarrollo de la legislación adecuada y la generalización de estos sistemas tan sólo es posible mediante la creación de grupos de trabajo expertos con amplias redes de colaboración (National SUDS Working Group, 2003). Estos grupos generan documentos de síntesis de gran importancia, recogiendo desde los aspectos legales hasta los aspectos técnicos básicos: glosario, descripciones, normas y detalles de diseño, legislación, responsabilidades de mantenimiento, garantías, pidió gráfica, organizaciones vinculadas, acrónimos y sitios de internet relacionados.

#### **1.4.2.1.2 FORMACIÓN**

La limpieza de las calles se ha considerado históricamente como uno de los aspectos más importantes para la mejora de la calidad de la escorrentía urbana (Temprano et al, 1996). Esta limpieza depende fundamentalmente de la educación y actitud de los ciudadanos. Para asegurar una correcta limpieza urbana son fundamentales costumbres como la recogida de los excrementos de animales de compañía, el uso de las papeleras para cualquier residuo o el no sacudir el polvo doméstico por las ventanas. Las normativas municipales y las sanciones impuestas ayudan a instaurar estos comportamientos, pero como en todo cambio de mentalidad son fundamentales las campañas de publicidad y concienciación (Jiménez, 1999).

Se destaca el papel primordial que juega la formación de los propietarios particulares de instalaciones como gasolineras, talleres, des grasas y zonas industriales, así como de las autoridades encargadas de su control, en la gestión adecuada de las aguas de lluvia. Estos lugares deben estar provistos de separadores de

hidrocarburos y balsas de retención para hacer frente a posibles vertidos accidentales. Estas instalaciones de tratamiento de la escorrentía superficial contaminada no sólo sirven para evitar multas, sino también para evitar problemas ambientales de contaminación difusa. Por ello no basta únicamente con la instalación de los sistemas adecuados, sino que es necesario su correcto mantenimiento y control para asegurar su funcionamiento a lo largo del tiempo.

#### **1.4.2.1.3 INVERSIÓN**

Las administraciones públicas en especial las autoridades municipales, deben contar con una partida del presupuesto anual que permite elaborar y hacer cumplir adecuadamente las normativas pertinentes que faciliten la generalización del aplicación del drenaje urbano sostenible, así como realizar las campañas de formación y publicidad necesarias para implicar a toda la sociedad en resolver un problema que es de todos. Sin un adecuado nivel de inversión económica por parte de las administraciones públicas no es posible afrontar la elaboración de manuales de construcción y programas de seguimiento de los sistemas de drenaje urbano. Además, en todos los casos es necesario dedicar parte de esta inversión al mantenimiento de los sistemas construidos para asegurar su correcto funcionamiento a lo largo del tiempo.

#### **1.4.2.2 SISTEMAS DE INFILTRACIÓN**

Los sistemas de infiltración o de control en origen implican infiltración superficial de escorrentía superficial. Para validar la infiltración del terreno es necesario asegurar su correcto rendimiento mediante un estudio completo del tipo de suelo, su permeabilidad y la situación del nivel freático. Además, estos sistemas no deben situarse a menos de cinco metros de distancia de un edificio o carretera para evitar que el agua infiltrada afecte a las cimentaciones de dichas estructuras. Las técnicas de control en origen están diseñadas para atajar desde el inicio la formación de la escorrentía superficial. Con la aplicación de estos sistemas se pretende recuperar la capacidad de infiltración de los suelos naturales en las ciudades. Esto se consigue aumentando el porcentaje de superficie permeable en la ciudad mediante zonas verdes, pavimentos permeables, depósitos de infiltración y pozos o zanjas de

infiltración (CIRIA, 2001; Pratt et al., 2002; Fernández et al., 2003; Wilson et al., 2004).

#### **1.4.2.2.1 SUPERFICIES PERMEABLES**

Una superficie permeable es cualquier área que permite la infiltración del agua, las superficies permeables pueden ser resistentes al tráfico o no, las resistentes al tráfico reciben el nombre de pavimentos permeables, siendo pavimentos permeables sin todas las capas de la sección resistente permiten el paso del agua. Por su parte, las superficies permeables que no tienen misión resistente forman parte de paseos, parques, jardines, glorietas, cubiertas verdes, etc.

#### **1.4.2.2.2 POZOS Y ZANJAS DE INFILTRACIÓN**

Pozos y zanjas de infiltración son perforaciones y trincheras rellenas de material drenante con un alto índice de huecos cubierto por una superficie permeable. Las zanjas son más estrechas y menos profundas que los pozos, siendo más eficientes.

#### **1.4.2.2.3 DEPOSITOS DE INFILTRACIÓN**

Los depósitos de infiltración son superficies permeables deprimidas que constituyen embalses superficiales donde se concentra y almacena el agua de lluvia hasta que se produce su infiltración. Su forma es irregular con taludes laterales suaves cubiertos de vegetación. Los depósitos de infiltración se diseñan para albergar volúmenes mayores que los pozos y las zanjas de infiltración gestionando cuencas mayores (CIRIA, 2001).

#### **1.4.2.3 SISTEMAS DE CAPTACIÓN Y TRANSPORTE**

Los sistemas de captación y transporte de aguas pluviales sirven para recoger y conducir lentamente la escorrentía superficial; estos sistemas están diseñados para permitir los procesos naturales de oxigenación, filtración, almacenamiento, infiltración y evaporación del agua a lo largo del trayecto, con la consiguiente laminación de la cantidad y mejora de calidad de agua (CIRIA, 2001; Wilson et al., 2004). Estos sistemas pueden ir recubiertos inferior mente por un geo sintético que

puede ser bien un geo textil permeable, si las condiciones del terreno permiten la infiltración directa o bien una geo membrana impermeable, si la infiltración del agua terreno no es recomendable.

Existen dos tipos principales:

- Subterráneos: deben ser filtrantes.
- Superficiales: cunetas verdes y franjas filtrantes.

#### **1.4.2.3.1 DRENES FILTRANTES**

Los drenes filtrantes, también conocidos como drenes franceses, son zanjas continuas recubiertas de geo sintético y rellenas de grava que captan y conducen las aguas pluviales, estas zanjas pueden contar con una tubería permeable embebida en el material granular para facilitar la circulación del agua en su interior, son usados comúnmente para la captación y drenaje de las aguas pluviales en carreteras.

#### **1.4.2.3.2 CUNETAS VERDES**

Las cunetas verde se definen como cauces naturalizados que captan y conducen el agua de escorrentía superficial de forma lenta y controlada, fomentando la oxigenación y la retención del agua, a diferencia de las cunetas de hormigón, las cunetas verdes están cubiertas de vegetación y rocas, son más anchas y permiten la reducción de la velocidad del flujo de agua, constituyendo además un refugio natural para los anfibios como sapos y tritones.

#### **1.4.2.3.3 FRANJAS FILTRANTES**

Es una superficie vegetada con cierta inclinación que permite el flujo lento de la lámina de escorrentía superficial asegurando un efecto filtro gracias a la cobertura vegetal, así por ejemplo, el césped puede filtrar la escorrentía superficial y retardar su flujo, ayudando que se produzcan los procesos de infiltración, evaporación y evotranspiración, generalmente, una franja filtrante con mayor anchura y densidad de vegetación se obtienen mayor capacidad filtrante y grado de depuración.

#### **1.4.2.4 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO**

Permiten gestionar grandes cuencas urbanas proporcionando una laminación de la cantidad de aguas pluviales, una depuración de su calidad mediante procesos naturales y un servicio a la comunidad aportando un valor paisajístico y natural al entorno urbano (Jiménez, 1999; EPA, 1999; Dreiseitl et al., 2001). Además estos sistemas suponen una medida de seguridad adicional en áreas industriales, carreteras y zonas con riesgo de vertidos, dado que permiten atrapar derrames accidentales (CIRIA, 2001; Wilson et al., 2004). Según la presencia continua de la lámina de agua pueden agruparse en:

- Sin lámina permanente de agua: depósitos de detención.
- Con lámina permanente de agua: estanques de retención y humedales artificiales.

##### **1.4.2.4.1 DEPOSITOS DE DETENCIÓN**

Son depresiones superficiales naturalizadas que permiten albergar un volumen de agua, laminando el flujo de escorrentía y reduciendo los riesgos de inundación. Pueden considerarse como tanques o depósitos de tormenta superficiales O como zonas inundables controladas.

Estos depósitos deben estar adecuadamente naturalizados y contar con un sistema de desagüe que permita su completa descarga.

##### **1.4.2.4.2 ESTANQUES DE RETENCIÓN**

Los estanques de retención son embalses superficiales poco profundos con una lámina de agua permanente. Esta lámina de agua oculta los bancos de sedimentos anti estéticos y permite un tiempo de retención del agua en el estanque que incrementa el rendimiento de depuración.

Además debe existir un mínimo de corriente controlando el caudal de entradas y de salida.

#### **1.4.2.4.3 HUMEDALES ARTIFICIALES**

Son superficies cubiertas de agua con poca profundidad, dotadas de abundante vegetación propia de pantanos y zonas húmedas. El tiempo de retención del agua en los humedales es aún mayor que en los estantes de retención por lo que se obtiene un mayor grado de depuración, es fundamental destacar que en ningún caso los humedales naturales deben recibir directamente el flujo de escorrentía superficial urbana, sólo los humedales artificiales están preparados para esta tarea.

#### **1.4.2.5 LA CADENA DE DRENAJE SOSTENIBLE**

La aplicación de sistemas de drenaje sostenible de forma aislada carece de sentido la mayor parte de los casos. Estos sistemas deben ser combinados para constituir una cadena completa de tratamiento y gestión de aguas pluviales, bien unos con otros o bien complementando las infraestructuras de drenaje convencional existentes (Wilson et al., 2004). Por ejemplo, las franjas filtrantes pueden ser utilizadas como pre tratamiento para eliminar el exceso de sólidos previamente al transporte del agua mediante cunetas verdes hasta un estanque de retención, asegurando una adecuada laminación y depuración del flujo de aguas pluviales. Por tanto, cualquier combinación de sistemas es posible aunando y potenciando las características y ventajas de cada uno para adaptar la cadena resultante a unas condiciones específicas de aplicación. La selección de los eslabones más adecuado no es sencilla, pues se trata de un proceso multidisciplinar en el que hay que tener en cuenta factores tradicionalmente relegados a un segundo plano como la calidad paisajística, el entorno arquitectónico o la influencia del uso del suelo urbano (National Calt SUDS Working Group, 2003). Debe existir una serie de objetivos claros desde el inicio que permita fijar el criterio de diseño la planificación de la cadena de drenaje sostenible requieren de una clara voluntad de integración medioambiental de los sistemas de drenaje en el entorno. Así, el criterio de diseño debe equilibrar las componentes relacionadas con la cantidad de agua, su calidad y el servicio ofrecido a la sociedad. (CIRIA, 2001).

Existen unas premisas básicas a la hora de planificar y seleccionar los diferentes sistemas que han de constituir los eslabones de la cadena de drenaje sostenible de las aguas pluviales de una determinada área de actuación:

- El control en origen es fundamental en todos los casos y la infiltración de al terreno es deseable siempre que sea posible.
- La captación y el transporte controlado de las aguas pluviales deben implicar el máximo posible de oxigenación, filtración, retención, infiltración y evaporación para disminuir la cantidad de agua a tratar y mejorar su calidad.
- Nunca se debe verter al medio natural sin pasar previamente por el número de eslabones necesarios para asegurar que se cumplen las condiciones marcadas previamente de cantidad, calidad y servicio.
- El diseño de cualquier cadena de drenaje sostenible debe ser funcional, durable y estético, teniendo en cuenta las necesidades de mantenimiento para garantizar su aceptación y conservación a lo largo del tiempo.

### **1.4.3 PAVIMENTOS PERMEABLES**

Son un tipo de pavimento que ha venido siendo estudiado desde la década de los 70 en Estados Unidos con el fin de solucionar o aliviar la contaminación debida a los vertidos de aguas de lluvia a los sistemas de saneamiento en tiempos de lluvias, también se inició el estudio en Europa a finales de la década de 1970 en el Reino Unido, Francia y Alemania.

#### **1.4.3.1 DEFINICIÓN**

Los pavimentos permeables se pueden definir como secciones compuestas de varias capas de materiales de construcción que permiten el paso del agua a través suyo, desde la superficie hasta la explanada, y en conjunto ofrecen la capacidad portante necesaria para resistir un tráfico determinado.

No son consideradas como pavimentos permeables aquellas secciones que cuentan con capas drenantes combinadas con capas impermeables, como por ejemplo

mezclan bituminosa porosas sobre mezclas bituminosa cerradas O semi cerradas. Estos pavimentos quedan excluidos puesto que la misión de las capas drenantes es únicamente la evacuación del agua hacia los laterales, sin permitir su filtración ni almacenamiento en las capas inferiores del pavimento. Además, de acuerdo con McCormack (2006), no se consideran como pavimentos permeables la superficie de césped que, aun resistiendo un determinado tráfico, no permitan una buena infiltración del agua por una excesiva presencia de limos, arcillas o materia orgánica.

#### **1.4.3.2 CLASIFICACIÓN**

Existen diferentes clasificaciones de varios autores e instituciones a nivel mundial dentro de éstas les presentaremos las más importantes.

Bruce K. Ferguson en su libro “Porous Pavements” clasifica a los pavimentos permeables en nueve tipos de pavimentos permeables:

- Áridos porosos.
- Césped poroso.
- Celdas de plástico.
- Adoquines conjuntas abiertas.
- Entramados prefabricados de hormigón.
- Hormigón poroso.
- Asfalto poroso.
- Superficies permeables ligeras.
- Caminos de madera.

El departamento de transportes de California (California Department of Transportation-CALTRANS) realiza la siguiente clasificación de los pavimentos permeables:

- Asfalto poroso.
- Hormigón poroso.
- Adoquines permeables.
- Estructuras de drenaje subterráneo.

El Dr. Jorge Rodríguez (2008) propone una clasificación en donde divide los pavimentos permeables en dos grupos

- Pavimentos permeables discontinuos.
  - Césped o grava con refuerzos.
  - Adoquines con ranuras.
- Pavimentos permeables continuos.
  - Mezcla bituminosa porosa.
  - Hormigón poroso.

Según el pavimento permeable		Según el destino final del agua
Pavimentos permeable discontinuos	Césped o grava con refuerzos	Infiltración
	Adoquines con ranuras	
Pavimentos permeables continuos	Mezcla bituminosa	Almacenamiento
	Hormigón poroso	Drenaje diferido

Tabla 1.2: Clasificación de pavimentos permeables.  
Fuente: Jorge Rodríguez 2008.

### **1.4.3.3 TIPOS DE PAVIMENTOS PERMEABLES**

Definiremos todos los tipos de pavimentos permeables según la clasificación propuesta por el doctor Jorge Rodríguez (tabla 1.2).

#### **1.4.3.3.1 PAVIMENTOS PERMEABLES DISCONTINUOS**

##### **1.4.3.3.1.1 CESPED O GRAVA CON REFUERZOS**

Es uno de los pavimentos más utilizados, debido a la estética de su acabado este tipo de pavimento también conocido como block grass en nuestro medio, ya que, es una estructura de concreto rellena con césped o grass; los principales problemas que afronta este tipo de pavimento es que un deficiente diseño de todo el pavimento provoca la rotura de la estructura de concreto, provocando una sensación de inestabilidad.

##### **1.4.3.3.1.2 ADOQUINES CON RANURA**

Son bloques prefabricados de hormigón diseñados o dispuestos de forma que la superficie final disponga de canales para la infiltración vertical del agua.

Estos canales pueden rellenarse con material drenante o dejarse libres.

Las juntas o espacios entre adoquines suelen ser mayores cuando van a rellenarse con material drenante, pudiendo utilizar separadores entre adoquines para facilitar su colocación.

Por el contrario, cuando las juntas se dejan libres, el tamaño de las ranuras para la infiltración se minimiza.



Fig. 1.32: Adoquines con ranura rellenos con material drenante.  
Fuente: [www.paraventgartennow.info](http://www.paraventgartennow.info)



Fig. 1.33: Adoquines con ranura rellenos con material libre.  
Fuente: <http://www.archiexpo.es/prod/hanson/product-59475-301793.html>

#### 1.4.3.3.2 PAVIMENTOS PERMEABLES CONTINUOS

##### 1.4.3.3.2.1 MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS

Según el porcentaje de huecos (H), las mezclas bituminosas se agrupan en (Gordillo, 2001; Kraemer et al., 2004):

- Densas o cerradas:  $H < 6\%$ .
- Semi densas o semi cerradas:  $H = 6 - 12\%$ .
- Abiertas:  $H > 12\%$ .

- Porosas o drenantes:  $H > 20\%$ .

Las mezclas bituminosas porosas fueron desarrolladas en Francia en 1968, donde la experiencia mostro que al cabo de 10 años, aún colmatadas, mantenían una buena rugosidad superficial y un aceptable drenaje superficial. A mediados de los años 70, la utilización de betúmenes modificados con polímeros permitió mejorar sus características reológicas y de adherencia aumentando su cohesión y disminuyendo su susceptibilidad térmica. No obstante, debido a la confrontación entre ventajas e inconvenientes, el desarrollo de esta técnica en Francia se bloque hasta 1985 cuando, gracias a la acción de determinadas asociaciones de automovilistas, se retomó su aplicación e investigación (Brule et al., 1993). Así, son numerosas las aplicaciones posteriores de los pavimentos porosos urbanos para reducir el ruido, como por ejemplo las realizadas en la región de Rhode (Pipien et al., 1990).

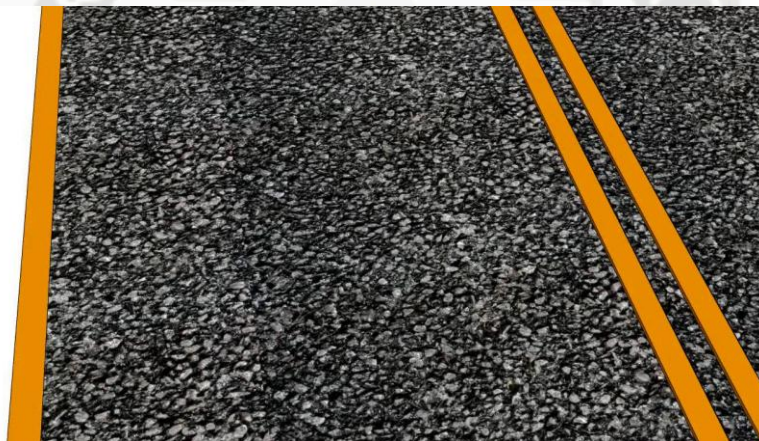


Fig. 1.34: Mezcla bituminosa porosa.

Fuente: <http://www.lafarge.vn/wps/portal/vn/vi/Concrete-and-Aggregates>

#### 1.4.3.3.2 MEZCLAS CONCRETO POROSO

El concreto poroso u hormigón permeable es una mezcla de agregado grueso, cemento, agua y poca o ninguna arena. También conocido como el hormigón “sin finos” o poroso, esta mezcla crea una estructura de célula abierta, permitiendo el agua de lluvia filtrar al suelo subyacente. Simulando la superficie de tierra natural, el hormigón permeable es excelente para la evacuación de agua de lluvia.

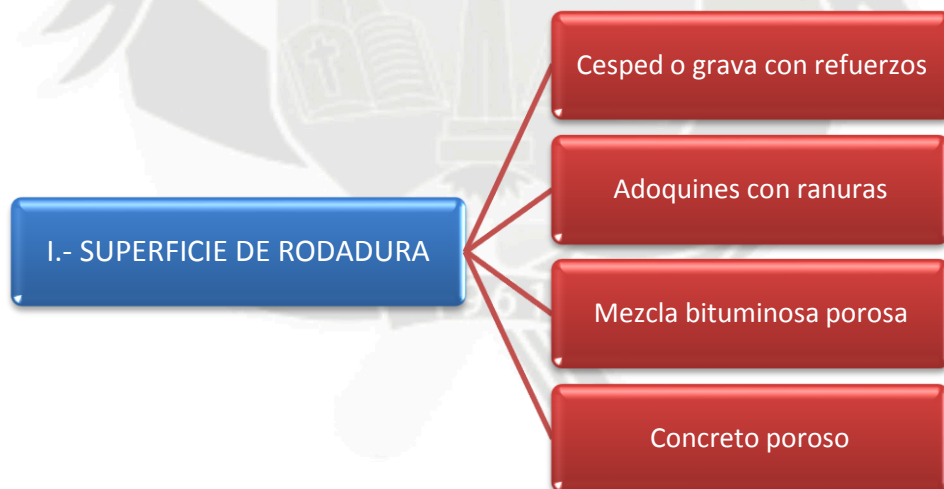


Fig. 1.35: Mezcla de concreto poroso.

Fuente: <http://www.arkigrafico.com/pavimento-permeable-la-mejor-opcion-contras-inundaciones>

#### 1.4.4 SECCIONES PERMEABLES

La sección típica de los pavimentos permeables, es un conjunto de capas permeables que están distribuidas de la siguiente forma:



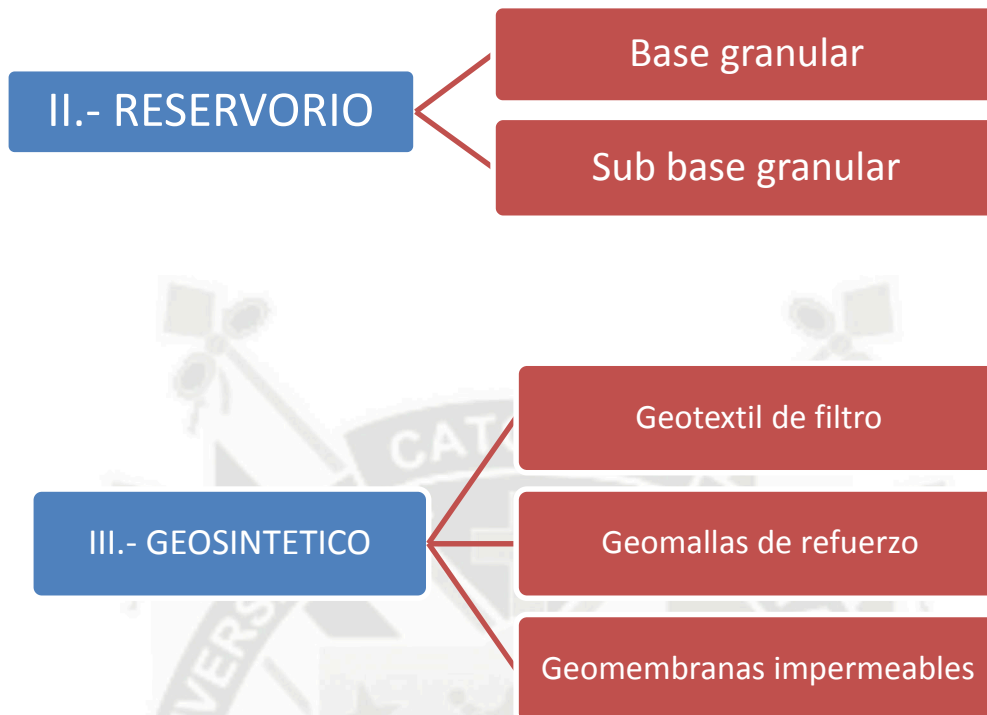


Fig: 1.36: Descripción de los contenidos de las diferentes capas que conforman el pavimento permeable.  
Fuente: Brule et al., 1993.

# ***CAPÍTULO II. PROPIEDADES DEL AGREGADO***

## **2.1 PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS**

Los agregados son parte fundamental del concreto, en ella buscamos las propiedades mecánicas deseadas, como son la trabajabilidad, durabilidad y resistencia para el uso del concreto en un pavimento permeable.

Las propiedades mecánicas de los agregados, se obtienen en base a las propiedades físicas de los agregados, mediante ensayos normados por:

- American Society for Testing and Materials (ASTM).
- La Norma Técnica Peruana (NTP).

El material utilizado en la investigación fue: AGREGADO GRUESO (Piedra huso 67) y AGREGADO FINO (Arena Gruesa). Provenientes de la cantera “LA PODEROSA”. Ubicada en el distrito de Uchumayo de la Ciudad de Arequipa. (Fig. 2.1)

## PLANO DE UBICACIÓN DE LA CANTERA “LA PODEROSA”

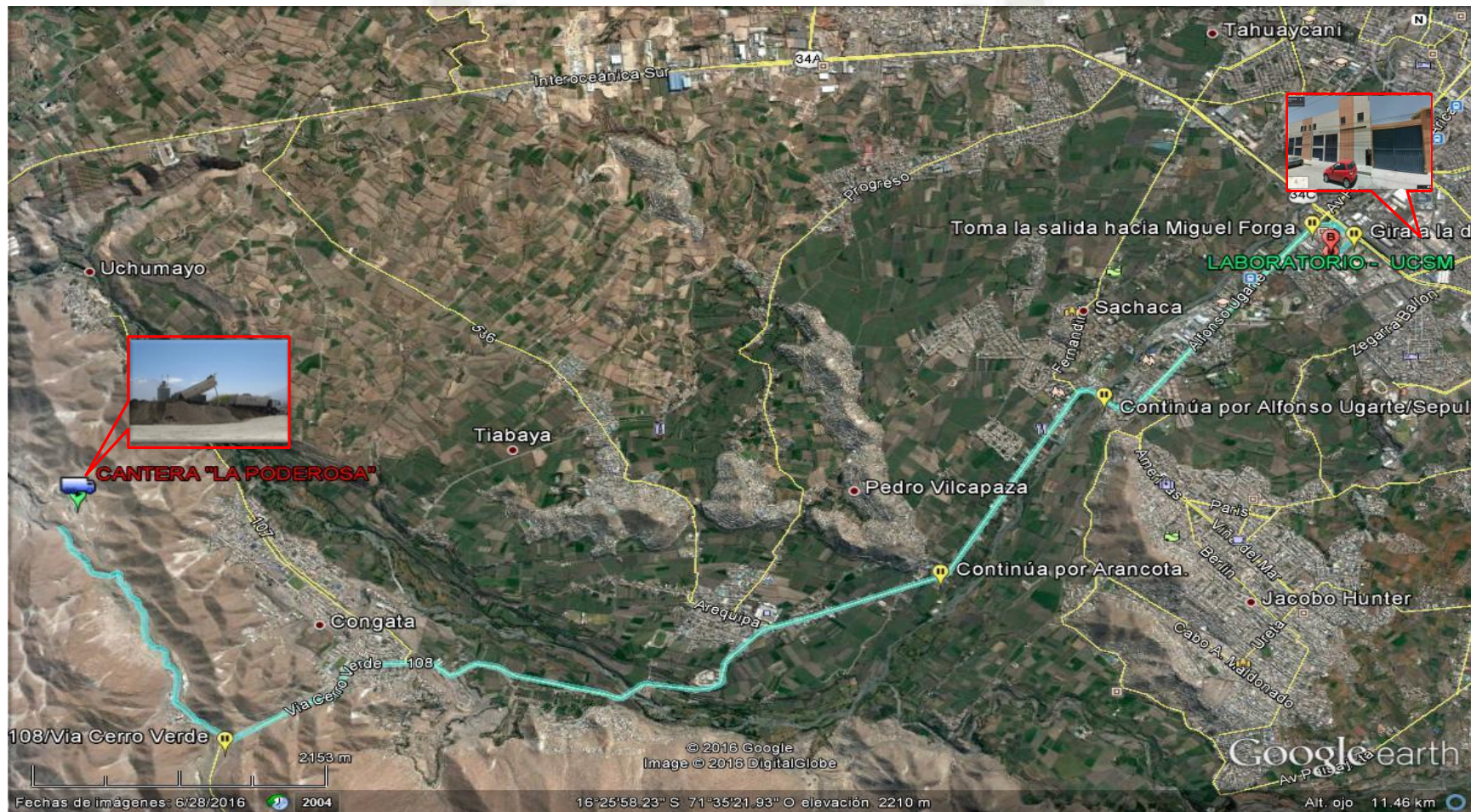


Fig. 2.1: Plano de ubicación de cantera La Poderosa (Arequipa- Perú).  
Fuente: Google Earth.

## 2.2 ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

La importancia del uso, tipo y calidad de los agregados no se puede subestimar, en el caso del concreto poroso, los agregados ocupan un gran porcentaje del volumen del concreto, es por ello la necesidad del estudio de las propiedades físicas de los agregados.

Los agregados deben de cumplir con algunas normas para que su uso en la ingeniería se optimicen: deben ser partículas limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos.

Los ensayos nos permiten conocer a nuestro agregado y así poder diseñar un concreto para el uso de pavimento permeable.

Se realizaron los siguientes ensayos normalizados según las norma ASTM y NTP, las mismas que emiten rangos de aceptabilidad para los agregados (Tabla 2.1).

	Ensayo – Norma	ASTM	NTP
A	Muestreo de los agregados	D-75	400.010
B	Contenido de humedad	C-566	339.185
C	Análisis granulométrico	C-136	400.012
D	Material más fino que pasa la malla n° 200	C-117	400.018
E	Peso específico y absorción del agregado grueso	C-127	400.021
F	Peso específico y absorción del agregado fino	C-128	400.022
G	Peso unitario y porcentaje de vacíos del agregado	C-29	400.017

Tabla 2.1: Norma, American Society for Testing and Materials – ASTM. Norma Técnica Peruana - NTP.

## 2.2.1 MUESTREO DE LOS AGREGADOS

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM D-75 y NTP 400.010

### a.- Objetivo

Esta práctica tiene como objetivo cubrir el muestreo de agregado fino y grueso para los siguientes propósitos:

- Investigación preliminar de la fuente potencial del suministro.
- Determinar los pesos mínimos, según la clasificación de los agregados según norma.
- Clasificar las muestras tomadas según normas.
- Aceptación o rechazo de los materiales.

### b.- Equipos

- Pala.
- Carretilla tipo Bugui.
- Balde o saco.



Fig. 2.2: Equipo a utilizar en el muestreo de los agregados.

### c.- Procedimiento

- Identifique la pila de agregado a analizar.
- Dividir la pila de material en tres secciones horizontales (superior, media e inferior) y con ayuda de la pala tome por lo menos 5 muestras distribuidas de cada de la pila (fig. 2.3).
- Considere lo siguiente según la Tabla 2.2
- La toma de la sección inferior no deberá ser tan cerca de la base porque esta presenta mayor cantidad de material segregado.
- Cada porción deberá ser tomada removiendo la superficie unos 30 cm. Aproximadamente.
- Combine las muestras en una sola muestra dentro del contenedor (en baldes o sacos).
- Es conveniente rotular la muestra en caso exista probabilidad de confundirla con otras.

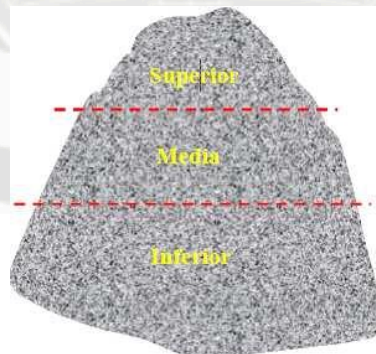


Fig. 2.3: Pila de material.

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DE AGREGADOS *		PESO MINIMO APROXIMADO DE CAMPO DE PRUEBA **
MALLA	mm	KG
AGREGADO FINO		
Nº 8	2.36	10
Nº 4	4.75	10
AGREGADO GRUESO		
3/8"	9.5	10
1/2 "	12.5	15
3/4 "	19	25
1"	25	50
1 1/2 "	37.5	75
2"	50	100
2 1/2"	63	125
3"	75	150
3 1/2"	90	175

Tabla 2.2: Pesos Recomendados según agregados.  
Fuente: ASTM D-75.

#### d.- Cuarteo

Para lograr la uniformidad en una muestra se deberá mezclar bien la muestra, luego se procede a realizar la reducción o cuarteo del material, la cual se hace sobre una lona y/o plástica, para evitar la pérdida de finos y la contaminación de la muestra.

Con el total de material se forma una pila cónica y con la plancha se quita el material de la misma y se forma otra pila, este proceso se repite tres veces. Luego se aplana cuidadosamente con la plancha hasta que su espesor sea uniforme. Se trazan dos diámetros perpendiculares quedando la muestra dividida en cuatro partes, se desechan dos opuestas y se seleccionan las restantes, las cuales de deben ser nuevamente mezcladas y reducidas de la forma explicada hasta obtener la muestra de ensayo.



**Fig. 2.4: Muestra de agregado grueso y fino de la cantera Poderosa.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.5: Muestra de agregado grueso de cantera Poderosa.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.6: Delimitación y trazo de diámetro perpendicular.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.7: Reducción del agregado mediante el cuarteo.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.8: Separación de agregados en cuatro partes.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.9: Selección de muestras representativas.**  
Fuente: Propia.

## 2.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-566 y NTP 339.185

### a.- Objetivo

- Determinar el porcentaje total de humedad evaporable en una muestra de agregado fino o grueso por secado.
- La humedad evaporable incluye la humedad superficial y la contenida en los poros del agregado, pero no considera el agua que se combina químicamente con los minerales de algunos agregados.

### b.- Equipos y herramientas

- Balanza con sensibilidad a 0.1 gr. para el agregado fino y 1 gr. para el agregado grueso.
- Recipiente para muestras.
- Fuente de calor: Horno.



### c.- Procedimiento

- Realizar el muestreo y extraer la muestra a ensayar según los pesos mínimos.
- El tamaño de la muestra para agregados fino será 500 gr. Aproximadamente y el agregado grueso de  $TM = 3/4''$  será aproximadamente 1000 gr.
- Pesar la muestra húmeda, secar la muestra en el horno a temperatura  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  hasta obtener una masa constante, luego dejar enfriar el agregado en estado seco.

d.- Cálculos

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso muestra humeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}} * 100$$

e.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD</b> <b>NORMA: ASTM C - 496 - NTP 339.185</b>
---

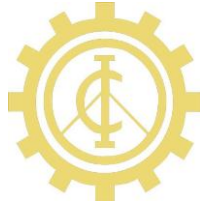
<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA
<b>MATERIAL:</b>	PIEDRA HUSO 67 (3/4")

Peso de la muestra Humeda (g)	2500.0
Peso de la muestra Seca (g)	2494.2
Contenido de Humedad (%)	0.23

FORMULA:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso muestra humeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}} * 100$$

Tabla 2.3: Cálculo del Contenido de humedad - Piedra Huso 67 (3/4").



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”**

**ENSAYO: CONTENIDO DE HUMEDAD  
NORMA: ASTM C - 496 - NTP 339.185**

<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA
<b>MATERIAL:</b>	ARENA GRUESA

Peso de la muestra Humeda (g)	500.0
Peso de la muestra Seca (g)	498.0
Contenido de Humedad (%)	0.40

FORMULA:

$$\% \text{ de humedad} = \frac{\text{peso muestra humeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra seca}} * 100$$

**Tabla2.4: Cálculo del Contenido de humedad – Arena Gruesa.**

### 2.2.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-136 y NTP 400.012

#### a.- Objetivo

- Establecer los requisitos de gradación y calidad para los agregados (finos y gruesos) para uso en concreto.
- Determinar el porcentaje pasante de los diferentes tamaños del agregado (fino y grueso) y con estos datos construir su curva granulométrica.
- Calcular si los agregados (fino, grueso) se encuentran dentro de los límites para hacer un buen diseño de mezcla.

#### b.- Equipos y herramientas

- Balanza.- Si se va a pesar agregados finos se debe utilizar una balanza con aproximación de 0.1 g, en el caso de agregado grueso, una balanza con aproximación al 0.5 g.
- Tamices.- La serie de tamices para agregados gruesos son: 3", 2", 1 ½", 1", ¾", ½", ⅜", # 4 y para agregados finos son #4, # 8, # 16, #30, #50, #100, #200.
- Tamizadoras mecánicas.
- Horno

#### c.- Procedimiento

- Agregado Grueso

Para este ensayo, la muestra de agregado grueso tiene que estar seca; para lo cual se llevará al horno a una temperatura de  $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ .

Luego de que el agregado este completamente seco, se procede a pesar ( 6000 gr) y luego se coloca el material en la tamizadora, donde ya están colocados los tamices, de mayor a menor según la serie de tamices.

Una vez que el material haya sido colocado en la tamizadora mecánica, se procede a tamizar la muestra, dicha maquina realiza movimiento circulares por un periodo de 5 minutos.

Una vez finalizado el tamizado, se pesa los retenidos en cada malla, comenzando de la malla superior y se determina el huso del material, para nuestro caso es Huso 67 (3/4”).



**Fig. 2.10: Material seleccionado para la granulometría.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.11: Material para realizar el ensayo de la granulometría.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.12: Equipo (tamizadora).**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.13: Pesos retenidos del ensayo de granulometría.**  
Fuente: Propia.

## REQUISITOS DE CLASIFICACIÓN PARA EL AGREGADO GRUESO

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3 ½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2 1/2 in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1 ½ in.)	25 mm (1 in.)	19 mm (3/4 in.)	12.5 mm (1/2 in.)	9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (N° 4)	2.36 mm (N° 8)	1.18 mm (N° 16)	300 µm (N° 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 1/2 a 1 ½ in.)	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 in.)	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm (2 a 1 in.)	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
357	50 mm a 4.75 mm (2 in. a N° 4)	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-	-
4	37.5 mm a 9 mm (1 1/2 a 3/4 in.)	-	-	-	-	100	95 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-	-
5	25 mm a 12.5 mm (1 a 1/2 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-	-
56	25 mm a 9.5 mm (1 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-	-
57	25 mm a 4.75 mm (1 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-	-
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 a 3/8 in.)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-	-
67	19 mm a 4.75 mm (3/4 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 in. a N° 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-	-
8	9.5 mm a 2.56 mm (3/8 in. a N° 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	-
89	9.5 mm a 1.18 mm (3/8 in. a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75 mm a 1.18 mm (N° 4 a N° 16)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Tabla 2.5: Clasificación requerida para el Agregado Grueso.  
Fuente: ASTM C-33.

- Agregado Fino

Para este ensayo, la muestra de agregado fino tiene que estar seca; para lo cual se llevará al horno a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .

La muestra aproximada mínima del agregado fino debe ser 1000 gr, la cual debe estar totalmente seca.

Una vez que el material haya sido colocado en la tamizadora mecánica, se procede a tamizar la muestra, dicha maquina realiza movimiento circulares por un periodo de 3 minutos.

Una vez finalizado el tamizado, se pesa los retenidos en cada malla, comenzando de la malla superior.

<b>TAMIZ</b>	<b>PORCENTAJE QUE PASA</b>
9.5 mm (3/8 in.)	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 $\mu\text{m}$ (N° 30)	25 a 60
300 $\mu\text{m}$ (N° 50)	05 a 30
150 $\mu\text{m}$ (N° 100)	0 a 10

**Tabla 2.6: Análisis Granulométrico del Agregado Fino.**  
Fuente: NTP. 400.037



**Fig. 2.14: Material representativas seleccionado para la granulometría.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.15: Equipo (tamizadora)**  
Fuente: Propia.




Fig. 2.17: Pesos retenidos del ensayo de granulometría  
Fuente: Propia.

d.- Cálculos

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ Retenido Acumulado } (1 \frac{1}{2}'' , 3/4'' , 3/8'' , N^{\circ} 4, N^{\circ} 8, N^{\circ} 16, N^{\circ} 30, N^{\circ} 50 \text{ y } N^{\circ} 100)}{100}$$

e.- Resultados

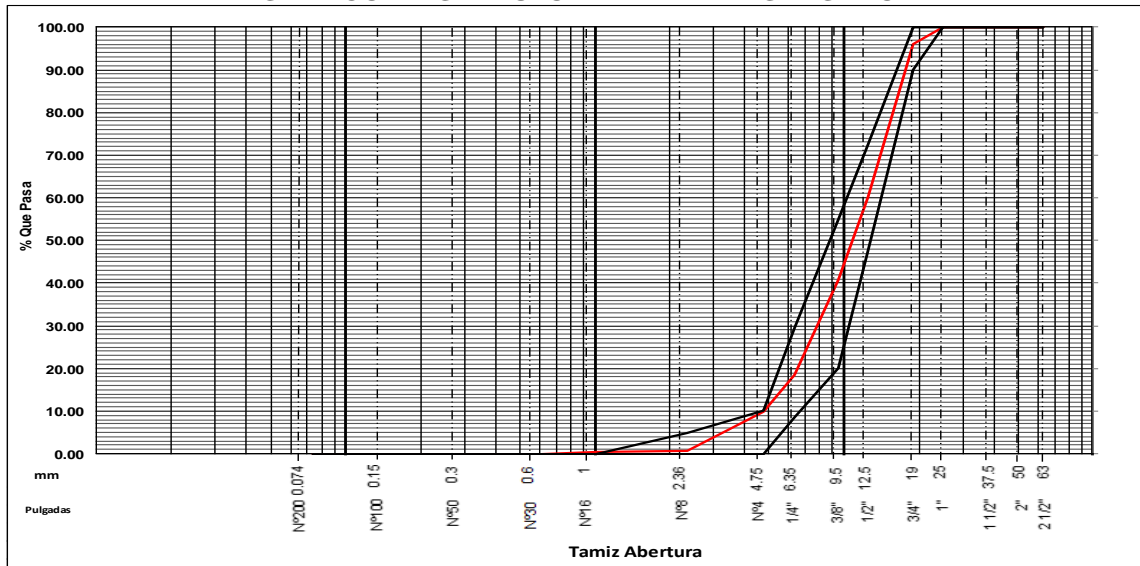
	<p><b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b></p> <p><b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b></p> <p>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</p>
---	---

**ENSAYO: ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO GRUESO**  
**NORMA: ASTM: C - 136 - NTP 400.012**

<b>MATERIAL :</b> PIEDRA HUSO 67	<b>MUESTRA No :</b> 1
<b>CANTERA:</b> LA PODEROSA	<b>FECHA DE MUESTREO</b> 01/08/2016
<b>PROCEDENCIA:</b> LABORATORIO UCSM	<b>FECHA DE INGRESO :</b> 01/08/2016
<b>ANALIZADO POR:</b> CHAIÑA - VILLANUEVA	<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b> 02/08/2016

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS		
MAILLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037	MODULO DE FINURA		
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	6.52	TAMAÑO MAX. NOM.	3/4"
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	2758	PESO ESP. SSS	kg/m <sup>3</sup>
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	1648	PESO VOL. COMPAC.	kg/m <sup>3</sup>
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	1463	PESO VOL. SUELTO	kg/m <sup>3</sup>
3/4"	239.50	3.99	3.99	96.01	90-100	0.70	% ABSORCIÓN	%
1/2"	2153.50	35.89	39.88	60.12	-	% HUMEDAD		%
3/8"	1162.50	19.38	59.26	40.74	20-55	% MALLA < # 200	0.46	%
1/4"	1334.50	22.24	81.50	18.50	-	HUSO	67	
Nº 4	515.00	8.58	90.08	9.92	0-10	<b>OBSERVACIONES:</b>		
Nº 8	554.00	9.23	99.32	0.68	0-5			
Nº 16	23.50	0.39	99.71	0.29	-			
Nº 30	17.50	0.29	100.00	0.00	-			
Nº 50	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
N 100	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
Nº 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<Nº 200	0.00	0.00	100.00	0.00	-			
<b>TOTAL:</b>	<b>6000.00</b>	<b>100.00</b>						

**GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO**



FORMULA:

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado ( 1 1/2" , 3/4" , 3/8" , N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100)}}{100}$$

**Tabla 2.7: Cálculo de Análisis Granulométrico del Agregado Grueso.**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

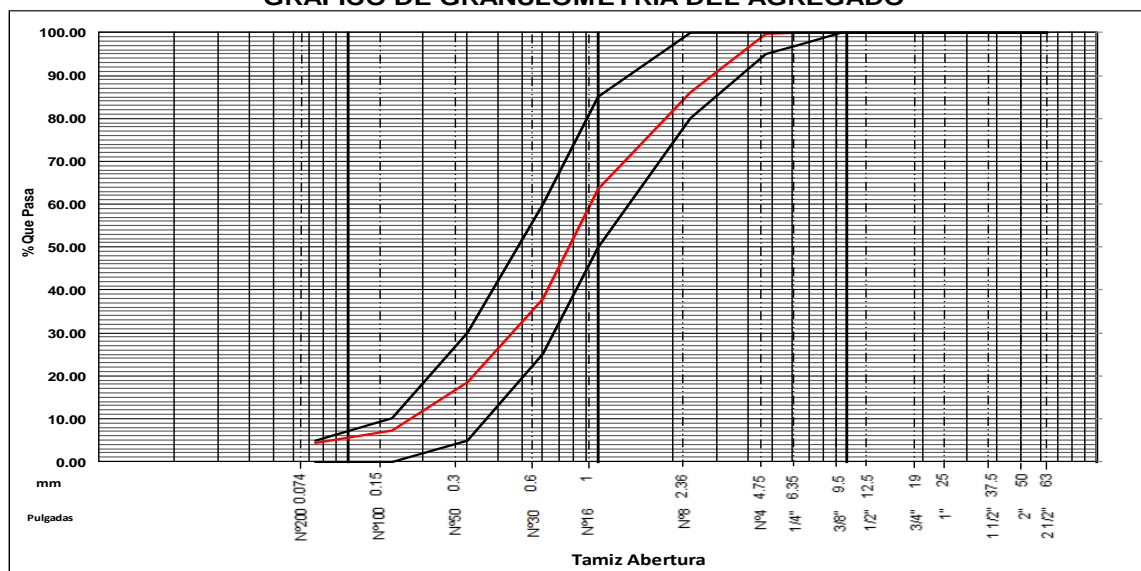
TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

**ENSAYO: ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO**  
**NORMA: ASTM: C - 136 - NTP 400.012**

<b>MATERIAL :</b>	ARENA GRUESA	<b>MUESTRA No :</b>	1
<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA	<b>FECHA DE MUESTREO</b>	01/08/2016
<b>PROCEDENCIA:</b>	LABORATORIO UCSM	<b>FECHA DE INGRESO :</b>	01/08/2016
<b>ANALIZADO POR:</b>	CHAIÑA - VILLANUEVA	<b>FECHA DE ANÁLISIS :</b>	02/08/2016

GRANULOMETRÍA						PROPIEDADES FÍSICAS		
MALLA ASTM	PESO RETENIDO	% RETENIDO	% RET. ACUMULADO	% QUE PASA	NTP 400.037	MODULO DE FINURA		
2 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	2.87	TAMAÑO MAX. NOM.	
2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	2667	kg/m <sup>3</sup>	
1 1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	1809	kg/m <sup>3</sup>	
1"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	1636	kg/m <sup>3</sup>	
3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	1.54	%	
1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	% HUMEDAD		
3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00	100	% MALLA < # 200	5.30 %	
1/4"	0.00	0.00	0.00	100.00	-	HUSO	ARENA	
Nº 4	3.50	0.31	0.31	99.69	95-100	<b>OBSERVACIONES:</b>		
Nº 8	151.50	13.53	13.84	86.16	80-100			
Nº 16	252.50	22.54	36.38	63.62	50-85			
Nº 30	288.50	25.76	62.14	37.86	25-60			
Nº 50	217.50	19.42	81.56	18.44	5-30			
Nº 100	125.50	11.21	92.77	7.23	0-10			
Nº 200	31.50	2.81	95.58	4.42	0-5			
FONDO	49.50	4.42	100.00	0.00	-			
<b>TOTAL:</b>	<b>1120.00</b>	<b>100.00</b>						

**GRÁFICO DE GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO**



FORMULA:

$$\text{Módulo de Finura} = \frac{\sum \% \text{ Retenido Acumulado (1 1/2", 3/4", 3/8", N° 4, N° 8, N° 16, N° 30, N° 50 y N° 100)}}{100}$$

**Tabla 2.8: Cálculo de Análisis Granulométrico del Agregado Fino.**

## 2.2.4 MATERIAL MÁS FINO QUE PASA LA MALLA N° 200

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-117 y NTP 400.018

### a.- Objetivo

- Determinar el contenido de polvo o material que pase el tamiz normalizado N°200. Las partículas de arcilla y otras partículas de agregado que son dispersadas por el agua, así como los materiales solubles en agua, serán removidas del agregado durante el ensayo.

### b.- Equipos y herramientas

- Balanza con aproximación al 0.5gr.
- Recipiente
- Tamiz N°200
- Horno (Temperatura 110 +/- 5°C)

### c.- Procedimiento

- Tomar el peso inicial seco, colocar la muestra en un envase que pueda ser completamente sumergido en agua, adicionar agua hasta cubrir la muestra completamente y lavar ligeramente el agregado, decantar el agua con los finos sobre la malla N° 200.
- Repetir el procedimiento hasta que el agua esté clara.
- El material retenido en la malla N° 200 debe ser regresado al recipiente donde se encuentra toda la muestra lavada, secar la misma en el horno a una temperatura constante de 110 +/- 5°C , dejar enfriar y luego pesar.



Fig. 2.18: Material representativo seleccionado para el ensayo de la malla # 200.  
Fuente: Propia.



Fig. 2.19: Se coloca las muestras al horno para realizar el ensayo de la malla # 200.  
Fuente: Propia.

d.- Cálculos

$$\% \text{ pasa } N^{\circ} 200 = \frac{PIs - PFs}{PIs} \times 100$$

Dónde:

PIs: Peso Inicial seco de la muestra (g)

PFs: Peso Final de la muestra lavada seca al horno (g)

### NOTA:



La norma ASTM C33, recomienda:

Agregado fino : del 3% al 5 %

Agregado grueso : máx. 1%

Agregado grueso triturado: máx. 1.5 %

e.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"	

**ENSAYO: MATERIAL MÁS FINO QUE PASA LA MALLA N° 200**  
**NORMA: ASTM C - 117 - NTP 400.018**



<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA
<b>MATERIAL:</b>	PIEDRA HUSO 67 (3/4")

Peso Inicial seco de la muestra (g)	PIs	2500.0
Peso Final lava seca al horno (g)	PFs	2488.5
Material mas fino que pasa la malla N° 200 (%)		0.46

FORMULA:

$$\% \text{ pasa } N^{\circ} 200 = \frac{PIs - PFs}{PIs} \times 100$$

Tabla 2.9: Cálculo del Material más fino que pasa la malla N° 200 – Piedra huso 67 (3/4").

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”	

<b>ENSAYO: MATERIAL MÁS FINO QUE PASA LA MALLA N° 200</b> <b>NORMA: ASTM C - 117 - NTP 400.018</b>
---

<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA
<b>MATERIAL:</b>	ARENA GRUESA

Peso Inicial seco de la muestra (g)	PIs	500.0
Peso Final lava seca al horno (g)	PFs	473.5
Material mas fino que pasa la malla N° 200 (%)		5.30

FORMULA:

$$\% \text{ pasa } N^{\circ} 200 = \frac{PIs - PFs}{PIs} \times 100$$

Tabla 2.10: Cálculo de Material más fino que pasa la malla N° 200 – Arena Gruesa.

## 2.2.5 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-127 y NTP 400.021

a.- Objetivo

- Determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso a partir del humedecimiento del mismo en un tiempo determinado.
- Conocer la importancia de cómo influye la densidad y % de absorción del agregado grueso en una mezcla de concreto.

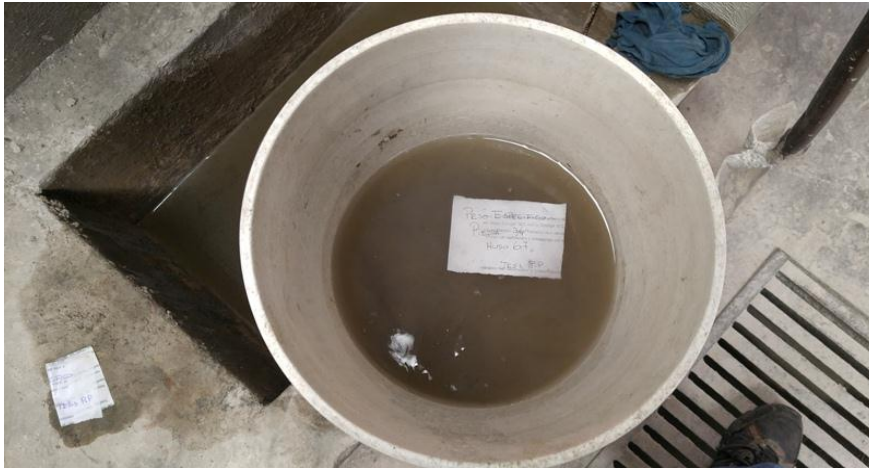
## b.- Equipos y herramientas

- Tamiz Balanza, con aproximación al 0.5gr y con capacidad de 5000gr o más, la balanza estará equipada con un dispositivo capaz de suspender la muestra en la cesta con malla de alambre en el recipiente de agua desde el centro de la plataforma de pesado.
- Tamiz normalizado N° 4
- Depósito de agua.
- Cesta con malla de alambre, con abertura correspondiente al tamiz N °6.
- Horno

## c.- Procedimiento

- Seleccione el material por muestreo y por cuarteo del agregado a ser usado, para así poder tener una muestra representativa.
- Tamizar el material por la malla N° 4 descartar la totalidad del pasante de esta malla.
- La muestra aproximadamente es de 5000gr de agregado grueso, el cual debe de ser seco.
- Saturar el material en agua por 24 horas, pasando este tiempo, se procede a eliminar el agua, se toma 3000gr aproximadamente de agregado saturado con superficie seca (S.S.S), hasta que podamos visualizar que el material a perdido el brillo superficial. Esto se obtiene secándolo con ayuda de una franela o toalla.
- Se pesa la muestra obteniéndose entonces el peso de la muestra bajo condiciones de saturado con superficie seca.
- Se pesa la canastilla completamente sumergida en el depósito de agua, marcar hasta donde se sumerge la canastilla, además de colocar en cero el peso de la canastilla sumergida en agua.

- Colocar la muestra saturada superficialmente seca en la canastilla y sumergirla completamente de tal manera que llegue a la marca anteriormente indicada, luego se pesa la muestra saturada en agua.
- Una vez retirada la muestra de la cesta de alambre, se lleva al horno a una temperatura entre  $100 \pm 5$  °C para obtener el peso de la muestra seca.



**Fig. 2.20:** Seleccione el material y se satura por 24 horas.  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.21:** Tamizar el material por la malla N° 4.  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.22: Se pesa la muestra saturado con superficie seca (S.S.S).**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.23: Se pesa la canastilla completamente sumergida en el depósito de agua.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.24: Se la muestra saturada en la canastilla y se sumerge.**  
Fuente: Propia.

d.- Cálculos

- Peso Específico (Pe AG):

$$\text{Peso Específico} = \frac{P1}{P1 - P2} \times 1000$$

- Absorción

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P3 - P4}{P4} \times 100$$

Dónde:



P1: Peso de la muestra saturada superficialmente seca

P2: Peso de la muestra saturada superficialmente seca Sumergido

P3: Peso de muestra 2 saturada superficialmente seca

P4: Peso de la muestra seca 2

e.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</b>

<b>ENSAYO: PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO</b> <b>NORMA: ASTM C - 127 - NTP 400.021</b>
--

<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA
<b>MATERIAL:</b>	PIEDRA HUSO 67 (3/4")

Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)	P1	4856.0
Peso de la muestra saturada superficialmente seca Sumergido (g)	P2	3095.3
Peso de la muestra 2 saturada superficialmente seca (g)	P3	1000.0
Peso de la muestra seca 2 (g)	P4	993.0
Peso Específico (kg/m³)	P <sub>eaG</sub>	2758
Absorción (%)	Abs	0.70

FORMULA:

$$Peso\ Específico = \frac{P1}{P1 - P2} \times 1000$$

$$\% Absorción = \frac{P3 - P4}{P4} \times 100$$

Tabla 2.11: Cálculo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso - Piedra huso 67 (3/4").

## 2.2.6 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-128 y NTP 400.022

### a.- Objetivo

- Determinar el peso específico y la absorción del Agregado Fino a partir del humedecimiento del mismo en un tiempo determinado.
- Conocer la importancia de cómo influye la densidad y % de absorción del agregado Fino en una mezcla de concreto.

### b.- Equipos y herramientas

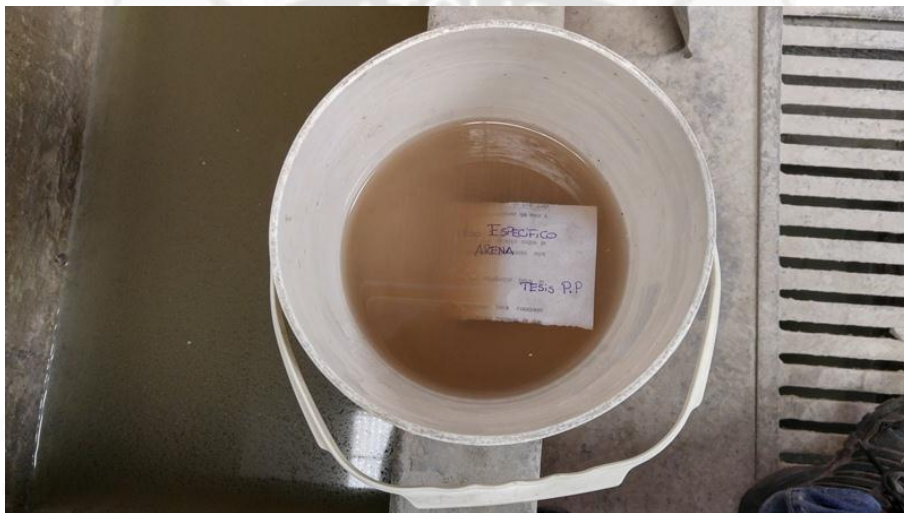
- Balanza, con aproximación al 0.5gr
- Picnómetro (fiola), con capacidad de 500 ml.
- Molde cónico metálico, de  $40 \pm 3$ mm de diámetro en la parte superior,  $90 \pm 3$ mm de diámetro en la parte inferior y  $75 \pm 3$ mm de altura. Confeccionado por una plancha metálica de un espesor igual o superior a 0.8 mm.
- Apisonador de metal, la cual es una varilla metálica con uno de sus extremos de sección plana y circular, de  $25 \pm 3$ mm de diámetro. Debe tener una masa de  $340 \pm 15$ gr.
- Horno.

### c.- Procedimiento

- Colocar la muestra sobre una bandeja no absorbente y llevarla al horno para secar a temperatura  $110^{\circ}\text{C} \pm 5$  gr., para que pierda humedad gradualmente removiendo constantemente para que la humedad sea uniforme.

- Esparcir el material sobre una superficie lisa no absorbente que esté expuesta a una corriente suave de aire.
- Cuidando que la muestra no se seque más del estado saturado superficialmente seco, que es cuando logramos de agregado no se adhieran entre sí.
- Sostener el cono firmemente, con el diámetro mayor hacia abajo, sobre una superficie plana no absorbente.
- Coger con las 2 manos secas una porción del agregado fino y vacíe dentro del cono.
- Se realiza la prueba del cono de absorción, introduciendo el agregado fino dentro de este, deje caer el apisonador 25 veces distribuidas uniformemente en la superficie. Cada caída debe partir desde una altura aproximadamente de 5mm sobre la superficie del agregado fino.
- Limpiar el agregado que se ha precipitado a los costados y levantar el cono en forma vertical.
- Si queda de forma tronco - cónica, el agregado tiene más humedad que la que corresponde al estado saturado superficialmente seco (S.S.S.)
- Si queda de forma cónica, terminada en punta sin desmoronarse, tendrá la humedad correspondiente al (S.S.S.), y con esa se realizará el resto de análisis.
- Si se desmorona, tiene menos humedad que la que les corresponde al estado (S.S.S), en este caso se puede adicionar unos mililitros de agua para humedecer la muestra y se coloca en un recipiente herméticamente cerrado por 30 minutos y luego se vuelve a probar en el cono hasta que llegue a la condición de saturado con superficie seca (S.S.S.)
- Colocar los 500g. De agregado (S.S.S.) en una fiola de 500 ml de capacidad y de peso conocido.

- Adicionarle un poco de agua hasta saturar la muestra por completo (sin llegar a la marca) y realizar giros circulares con el fin de eliminar todas las burbujas de aire contenido en la muestra. Completar con agua hasta la marca de la fiola y dejar en reposo por 15 minutos o hasta que los finos se asienten, retirar con papel absorbente la espuma que hubiera en la superficie y completar con agua hasta la marca (500 ml), luego pesar.
- Extraer la muestra y colocarla en un recipiente metálico o tara de peso conocido y llevarlo al horno por 24 horas o hasta peso constante.



**Fig. 2.25: Sumergir en agua el agregado por 24 horas.  
Fuente: Propia.**



**Fig. 2.26: Colocar el agregado en bandeja para hacer secar al aire.  
Fuente: Propia.**



Fig. 2.27: Compactar el material en molde con 25 golpes/capa.  
Fuente: Propia.



Fig. 2.28: Cuando existe humedad libre, el cono conserva su forma.  
Fuente: Propia.



Fig. 2.29: El material alcanzó la condición (SSS).  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.30: Se pesa 500gr. De agregado (S.S.S.).**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.31: Colocar los 500gr. en una probeta graduada de peso conocido.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.32: Adicionarle un poco de agua hasta saturar la muestra por completo.  
Fuente: Propia.**



**Fig. 2.33: Se coloca en un recipiente y se pone al horno por 24 horas y se toma el peso seco.  
Fuente: Propia.**

d.- Cálculos

- Peso Específico.

$$P.E = \frac{500g}{500g - [P1 - P2 - 500]} \times 1000$$

Dónde:

500 g: Peso de la muestra saturada superficialmente seca (500 g)

P1: Peso de la probeta graduada con muestra y agua hasta la marca de calibración.

P2: Peso de la probeta graduada.

- Absorción


$$\% \text{ Absorción} = \frac{A - B}{B} \times 100$$

Dónde:

A: Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

B: Peso de la muestra seca en el aire.

e.- Resultados

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</b>

<b>ENSAYO: PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO</b> <b>NORMA: ASTM C - 128 - NTP 400.022</b>
--

<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA
<b>MATERIAL:</b>	ARENA GRUESA

500g, Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)	500g	500.0
Peso de probeta graduada con muestra y agua (g)	P1	1065.0
Peso de probeta graduada (g)	P2	252.5
Peso específico de la arena gruesa (kg/m³)		2667
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)	A	500.0
Peso de la muestra seca al aire (g)	B	492.4
Absorción (%)	1.54	

FORMULA:

$$P.E = \frac{500g}{500g - [P1 - P2 - 500]} \times 1000$$

$$\% \text{ Absorción} = \frac{A - B}{B} \times 100$$

Tabla 2.12: Cálculo de Peso Específico y Absorción de la Arena Gruesa.

## 2.2.7 PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-29 y NTP 400.017

### a.- Objetivo

- Determinar el peso unitario y los vacíos en los agregados. En condición suelto y compactado.
- Este método calcula los vacíos entre las partículas, para los agregados finos y gruesos.

### b.- Equipos y herramientas

- Balanza con exactitud dentro del 0.1% de la carga de ensayo.
- Varilla de Acero Liso con punta semiesférica (5/8" de diámetro y 24" de longitud)
- Recipiente u Olla para peso unitario.
- Pala y cucharón.

### c.- Procedimiento

- **Peso Unitario Compactado**
  - Realizar el muestreo y cuarteo del material.
  - Secar el material.
  - Se llena la tercera parte del recipiente de medida y se nivela la superficie. Se apisona la capa de agregado con la varilla 5/8" compactando, mediante 25 golpes distribuidos uniformemente sobre la superficie en forma helicoidal para posteriormente con el martillo de goma dar 12 golpes al recipiente metálico para el acomodo del material. Se llena hasta las dos

terceras partes del envase, se repite el compactado para acomodo de partículas. Finalmente se llena el recipiente metálico con agregado hasta rebosar, se vuelve a apisonar con la varilla también con 25 golpes, para finalizar golpear con el martillo de goma 12 veces y luego enrasar con una regla metálicas o en su defecto con la misma varilla.

- Al compactar la primera capa se procura que la varilla no golpea el fondo con fuerza, al compactar las últimas dos capas la varilla debe penetrar solo la última capa de agregado colocado.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido, peso y volumen de recipiente, se registran estos datos.

- **Peso Unitario Suelto**

- Realizar el muestreo y cuarteo del material.
- Secar el material.
- El recipiente a medida se llena con una pala hasta rebosar, descargando el agregado desde una altura no mayor a 50 mm (2") por encima de la parte superior del recipiente. El agregado sobrante se elimina cuidadosamente con una regla evitando cualquier compactación.
- Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido, peso y volumen del recipiente, se registran estos datos.

d.- Cálculos

- **Peso Unitario Compactado**

$$PU \text{ Compactado} = \frac{\text{peso de la muestra compactada(kg)}}{\text{volumen del recipiente (m}^3\text{)}}$$

- Peso Unitario Suelto

$$PU \text{ Suelto} = \frac{\text{peso de la muestra suelta (kg)}}{\text{volumen del recipiente (m}^3\text{)}}$$

- Porcentaje de Vacíos

$$\% \text{ de Vacíos} = \frac{(PE - PU)}{PE} * 100\%$$

Dónde:

- PE: Peso específico
- PU: Peso Unitario suelto y compactado (según sea el ensayo)



Fig. 2.34: Equipo completo a usar.  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.35: Recipiente metálico para agregado grueso y fino.  
Fuente: Propia.**



**Fig. 2.36: Se llena la tercera parte del recipiente de medida.  
Fuente: Propia.**



Fig. 2.37: Se apisona la capa de agregado con la varilla 5/8", compactando.  
Fuente: Propia.



Fig. 2.38: Con el martillo de goma dar 12 golpes al recipiente metálico, para el PUC.  
Fuente: Propia.



Fig. 2.39: Enrasar con regla metálica hasta el nivel del borde superior.  
Fuente: Propia.



**Fig. 2.40: Enrasar y limpiar los bordes del recipiente.  
Fuente: Propia**



**Fig. 2.41: Se determina el peso del recipiente de medida más su contenido.  
Fuente: Propia.**



Fig. 2.42: Se apisona la capa de agregado con la varilla 5/8", compactando.  
Fuente: Propia.


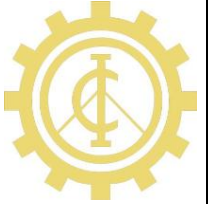


Fig. 2.43: Con el martillo de goma dar 12 golpes al recipiente metálico, para el PUC.  
Fuente: Propia.



Fig. 2.44: Se enraza y se pesa en la balanza.  
Fuente: Propia.

e.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO</b> <b>NORMA: ASTM C - 29 - NTP 400.017</b>
---

<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA
<b>MATERIAL:</b>	PIEDRA HUSO 67 (3/4")

Peso de la Muestra compactada (kg)	Pmc	15.399
Volumen de la Olla (m3)	Vo	0.00935
P U Compactado (kg/m³)	PUC	1648



Peso de la Muestra suelto (kg)	Pms	13.668
Volumen de la Olla (m3)	Vo	0.00935
P U Suelto (kg/m³)	PUS	1463

FORMULA:

$$PU \text{ Compactado} = \frac{\text{peso de la muestra compactada(kg)}}{\text{volumen del recipiente (m}^3\text{)}}$$

$$PU \text{ Suelto} = \frac{\text{peso de la muestra suelto(kg)}}{\text{volumen del recipiente (m}^3\text{)}}$$

Tabla 2.13: Cálculo de Peso unitario Suelto y Compactado – Piedra huso 67 (3/4”).

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO</b> <b>NORMA: ASTM C - 29 - NTP 400.017</b>
---

<b>CANTERA:</b>	LA PODEROSA
<b>MATERIAL:</b>	ARENA GRUESA

Peso de la Muestra compactada (kg)	Pmc	5.123
Volumen de la Olla (m <sup>3</sup> )	Vo	0.00283
P U Compactado (kg/m <sup>3</sup> )	PUC	1809

Peso de la Muestra suelto (kg)	Pms	4.634
Volumen de la Olla (m <sup>3</sup> )	Vo	0.00283
P U Suelto (kg/m <sup>3</sup> )	PUS	1636

FORMULA:

$$PU \text{ Compactado} = \frac{\text{peso de la muestra compactada(kg)}}{\text{volumen del recipiente (m}^3\text{)}}$$

$$PU \text{ Suelto} = \frac{\text{peso de la muestra suelto(kg)}}{\text{volumen del recipiente (m}^3\text{)}}$$

Tabla 2.14: Cálculo de Peso unitario Suelto y Compactado – Arena Gruesa.

# CAPÍTULO III: DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE

El diseño de mezcla del concreto permeable establecido por el ACI 522R-10, nos brinda un método para proporciones de concreto permeable, el cual puede ser utilizado en pavimentos que permitan la filtración y un alto porcentaje de drenaje de aguas.

## 3.1 CRITERIOS DE DISEÑO DE MEZCLA

Para el concreto permeable, las relaciones agregado/cemento y a/c son las variables más importantes que afectan las propiedades mecánicas. Se ha encontrado como aceptable un amplio rango de valores de cemento, dependiendo de la aplicación específica. Los aditivos químicos, además de afectar la relación a/c, se usan para influir en la trabajabilidad y los tiempos de fraguado, para mejorar las varias características del concreto permeable, y para mejorar la durabilidad a largo plazo. La tabla 3.1, Nos proporciona rangos típicos del proporcionamiento de materiales en el concreto permeable, y son solo valores de referencia.

	Proporciones (kg/m <sup>3</sup> )
Material cementante	270 @ 425
Agregado	1190 @ 1480
Relación agua-cemento, en peso	0.27 A 0.45
Relación agregado-cemento, en peso	4 @ 4.5 : 1
Relación agregado fino-cemento, en peso	0 @ 1 : 1

Tabla 3.1: Rangos típicos de proporciones de material en concreto permeable.  
Fuente: (ACI 522R-10)

### 3.1.1 RELACIÓN AGUA-CEMENTO (a/c)

La dosis de agua utilizada tiene una gran repercusión en las propiedades de la mezcla. Utilizando una cantidad insuficiente de agua dará como resultado una mezcla sin consistencia y con una baja resistencia. Una cantidad excesiva de agua, generará una pasta que sellará los vacíos de la mezcla y que, además, lavará el cemento dejando expuesto al agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial.

Actualmente, existe consenso sobre el hecho de que la relación agua-cemento es una co-variable, determinada por la cantidad y tipo de cemento y por la granulometría empleada.

Se suele utilizar como criterio para determinar este valor, al encontrar la cantidad de agua con la cual la pasta adquiere un brillo metálico (FCPA, 2002).

Se supone que la trabajabilidad del concreto permeable es la deseable, si se usa suficiente agua de mezclado para impartir a la mezcla una apariencia de un metal mojado.

Al comprimir y soltar un puñado de la mezcla, se deberá tener como resultado una mezcla que no se desmorone, ni presente huecos, y no debe fluir la pasta de cemento separándose de las partículas del agregado. La consistencia correcta usualmente se obtiene a través de un proceso de prueba e inspección, lo que asegura que cada mezcla contenga la pasta de cemento suficiente para cubrir las partículas gruesas con una delgada capa brillante, dándole un resplandor metálico.



Fig. 3.1: Con poca agua



Fig. 3.2: Adecuada cantidad de agua



Fig. 3.3: Con demasiada agua

Fuente - (Tennis et al., 2004).

En el concreto permeable, el contenido óptimo de agua produce una pasta de cemento muy húmeda con una alta viscosidad. La definición de la relación a/c óptima depende principalmente de las características de granulometría y de las propiedades físicas de los agregados, así como del material cementante de la mezcla.

### 3.1.2 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO (b/bo)

Las pruebas de peso unitario seco-compactado de agregado grueso (b/bo) hecho por la National Aggregates Association (NAA), muestra que el peso unitario seco-compactado del agregado grueso determinado de acuerdo con la norma ASTM C29 puede usarse en el proporcionamiento del concreto permeable.

Dónde:

$b/b_o$  = volumen seco compactado de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

$b$  = volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto.

$b_o$  = volumen de agregado grueso por unidad de volumen de agregado grueso.

El valor  $b/b_o$  automáticamente se compensa por los efectos de las diferentes formas de las partículas de los agregados, la graduación o tamaño, y el peso específico. Además, para un rango de agregados de tamaño máximo nominal normalmente usados para concreto permeable (3/8" a 3/4") los valores  $b/b_o$  son muy similares (ACI 522R-10).

La tabla 3.2 muestra los valores de  $b/b_o$  para agregado grueso de tamaños No. 8 (3/8") y No. 67 (3/4") para un contenido de agregado fino de 0%, 10% y 20% del total de agregado

Agregado Fino (%)	(b/b <sub>o</sub> )	
	Huso 8 (3/8")	Huso 67 (3/4")
	9.5 mm	19.0 mm
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

Tabla 3.2: Valores efectivos de  $b/b_o$ .  
Fuente: (Apéndice 6 – ACI 522R-10)

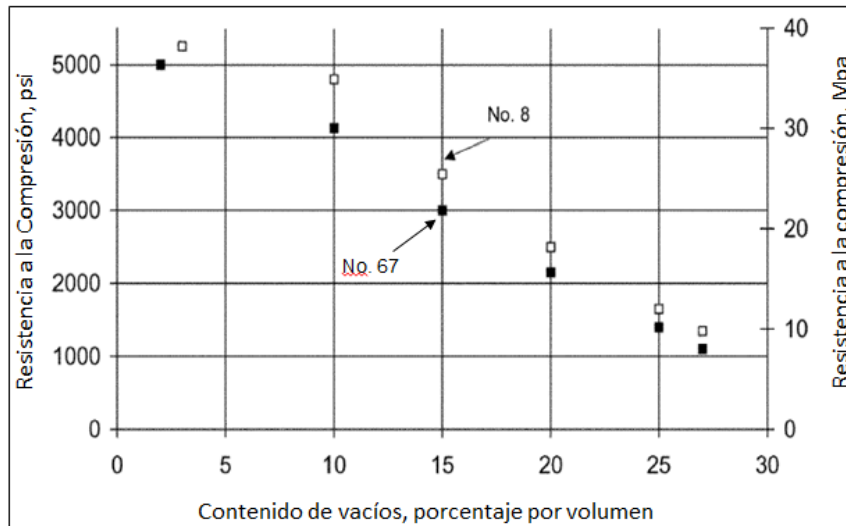


Fig. 3.4: Relación entre el contenido de vacíos y la resistencia a la compresión a los 28 días, para el tamaño de agregado N ° 67 y N ° 8.  
Fuente: (Apéndice 6 – ACI 522R-10).

### 3.1.3 PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN

El procedimiento de dosificación para el concreto permeable está basado en el volumen de pasta necesaria para ligar las partículas de agregado en conjunto, manteniendo el contenido de vacíos necesario, como se muestra en la figura. La cantidad de agregado depende de la densidad seca varillada y los valores  $b/b_0$  seleccionados de la Tabla 3.2.

Una vez que el volumen de pasta se determina de la fig. 3.4, y seleccionada la relación Agua/Material Cementante deseada, el cemento y las cantidades de agua puede determinarse a partir de la relación:

Volumen de Pasta (VP) = Volumen de Cemento + Volumen de Agua, o

$$VP = c/3150 + w/1000 \text{ (m}^3\text{)}$$

Donde  $c$  es la masa de cemento y  $w$  es la masa de agua. Si la relación Agua/Cemento es  $(w/c)$ , entonces:

$$w = (w/c) c$$

$$VP = c/3150 + [(w/cm)c/1000] \text{ (m}^3\text{)}$$

Además, se puede incrementar cemento en las pruebas de diseño, incrementándole de 30 kg/m<sup>3</sup> sin pasar el máximo recomendado en la tabla 3.1.

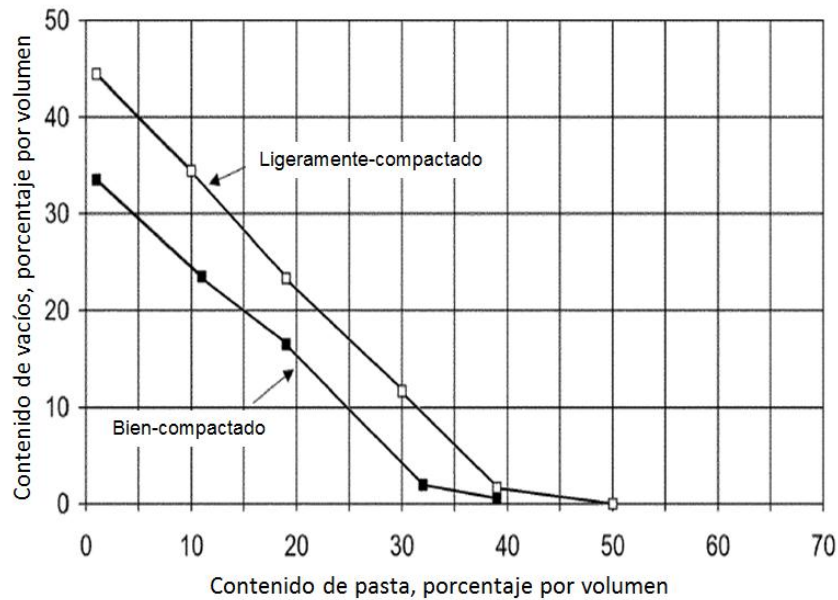


Fig. 3.5: Relación del contenido de vacíos y el contenido de pasta, para agregado N° 67 y N° 8.  
Fuente: (Apéndice 6 – ACI 522R-10).

### 3.2 DISEÑOS DE MEZCLA DE LA INVESTIGACIÓN

Para la investigación se realizaron 18 diseños de mezcla. Los primeros seis diseños, fueron realizados **SIN FINOS**, con relaciones a/c de 0.30, 0.35 y 0.40, con porcentajes de vacíos de 10% y 15% respectivamente y utilizando solo aditivo Viscocrete 1110 de la marca SIKA.

Para los 12 diseños restantes se adiciono agregado fino (CON FINOS) al 10% y 20% del volumen de grava, relación a/c 0.30, 0.35, 0.40, porcentaje de vacíos de 10% (para poder alcanzar mejores resistencias), aditivo Viscocrete 1110 de la marca SIKA (aditivo superplastificante reductor de agua con retardo), aditivo Neoplast 8500 HP de la marca EUCO (aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante sin retardo).

En la tabla 3.4, se presenta un resumen de las características de los diseños de mezclas utilizados en la presente investigación:

### **DISEÑOS DE MEZCLAS DEL CONCRETO PARA PAVIMENTO PERMEABLE**

<b>DISEÑO DE MEZCLA PARA EL PAVIMENTO PERMEABLE – SIN FINOS</b>					
<b>Diseño</b>	<b>Agregado Fino</b>	<b>Agregado Grueso (HUSO - TMN)</b>	<b>Relación a/c</b>	<b>% de Vacíos</b>	<b>Aditivo (Nombre – Marca)</b>
PP1-S	NO	67 – ¾”	0.30	15 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP2-S	NO	67 – ¾”	0.35	15 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP3-S	NO	67 – ¾”	0.40	15 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP4-S	NO	67 – ¾”	0.30	10 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP5-S	NO	67 – ¾”	0.35	10 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP6-S	NO	67 – ¾”	0.40	10 %	Viscocrete 1110 - SIKA

<b>DISEÑO DE MEZCLA PARA EL PAVIMENTO PERMEABLE – CON FINOS</b>					
<b>Diseño</b>	<b>Agregado Fino (%)</b>	<b>Agregado Grueso (HUSO - TMN)</b>	<b>Relación a/c</b>	<b>% de Vacíos</b>	<b>Aditivo (Nombre – Marca)</b>
PP7-S	20 %	67 – ¾”	0.30	10 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP8-S	20 %	67 – ¾”	0.35	10 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP9-S	20 %	67 – ¾”	0.40	10 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP10-S	10 %	67 – ¾”	0.30	10 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP11-S	10 %	67 – ¾”	0.35	10 %	Viscocrete 1110 - SIKA
PP12-S	10 %	67 – ¾”	0.40	10 %	Viscocrete 1110 – SIKA
P13P-E	20 %	67 – ¾”	0.30	10 %	Neoplast 8500 HP - EUCO
PP14-E	20 %	67 – ¾”	0.35	10 %	Neoplast 8500 HP - EUCO
PP15-E	20 %	67 – ¾”	0.40	10 %	Neoplast 8500 HP - EUCO
PP16-E	10 %	67 – ¾”	0.30	10 %	Neoplast 8500 HP - EUCO
PP17-E	10 %	67 – ¾”	0.35	10 %	Neoplast 8500 HP - EUCO
PP18-E	10 %	67 – ¾”	0.40	10 %	Neoplast 8500 HP - EUCO

Tabla 3.3: Resumen de las características de los diseños de mezclas utilizados.  
Fuente: propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

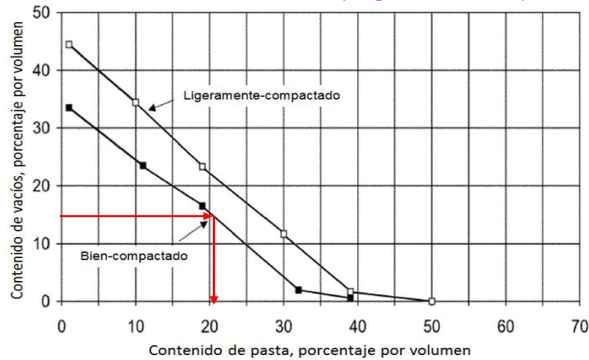
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Específico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP1-S

Relacion a/c	0.30
Contenido de Vacíos	15%
Arena	SIN FINOS
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.21$$

$$V_p = 0.21$$

$$C. \text{ Vacíos} = 0.15$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{\text{Grava}}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$Wg(sss) = (\text{grava}) \times (1 + \text{Absorción})$$

$$Wg(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 340.10 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.121 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$\text{agua} = 102.03 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.102 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.863 \text{ m}^3$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacíos

$$Cont. \text{ Vacíos} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacíos} = 14\% \sim 15\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	340.10 kg/m3
Piedra 3/4"	1777.48 kg/m3
Arena	NO APLICA kg/m3
Agua	102.03 kg/m3
Aditivo - SIKKA	2.04 kg/m3

Dosis de Aditivo: (SIKA - Viscocrete 1110 PE)	0.6% del peso de Cemento
--	--------------------------

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	9.63 kg/ft3
Piedra 3/4"	50.33 kg/ft3
Arena	NO APLICA kg/ft3
Agua	2.89 kg/ft3
Aditivo - SIKKA	0.06 kg/ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	5.23
Arena	NO APLICA
Agua	0.3
Aditivo - SIKKA	0.26

Tabla 3.4: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP1-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

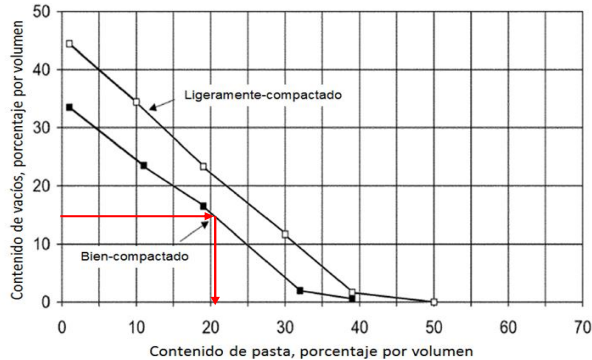
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Específico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP2-S

Relacion a/c	0.35
Contenido de Vacios	15%
Arena	SIN FINOS
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.21$$

$$V_p = 0.21$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.15$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{\text{Grava}}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (grava) \times (1 + \text{Absorción})$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 314.63 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.112 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$\text{agua} = 110.1205 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.110 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.862 \text{ m}^3$$

\* Para confirma el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$\text{Contenido de Vacios} = 14\% \sim 15\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	314.63 kg/m3	Dosis de Aditivo: (SIKA - Viscocrete 1110 PE) 0.6 % del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1777.48 kg/m3	
Arena	NO APLICA kg/m3	
Agua	110.121 kg/m3	
Aditivo - SIKA	1.89 kg/m3	

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	8.91 kg/ ft3
Piedra 3/4"	50.33 kg/ ft3
Arena	NO APLICA kg/ ft3
Agua	3.12 kg/ ft3
Aditivo - SIKA	0.05 kg/ ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	5.65
Arena	NO APLICA
Agua	0.35
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.5: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP2-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

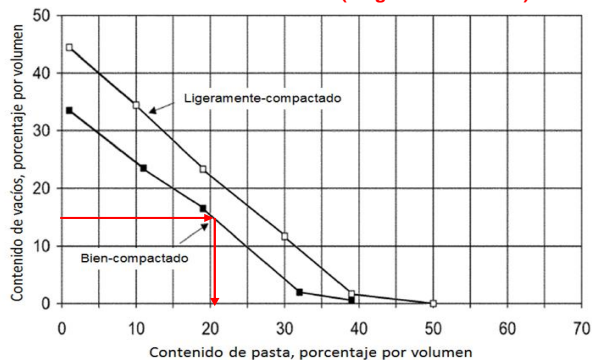
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Específico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP3-S

Relacion a/c	0.40
Contenido de Vacios	15%
Arena	SIN FINOS
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.21$$

$$V_p = 0.21$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.15$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{\text{Grava}}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (\text{grava}) \times ((1 + \text{Absorción}))$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 292.70 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.104 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$\text{agua} = 117.08 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.117 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.861 \text{ m}^3$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacíos

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$\text{Contenido de Vacios} = 14\% \sim 15\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	292.70 kg/m3
Piedra 3/4"	1777.48 kg/m3
Arena	NO APLICA kg/m3
Agua	117.08 kg/m3
Aditivo - SIKA	1.76 kg/m3

Dosis de Aditivo:  
(SIKA - Viscocrete 1110 PE)  
0.6 % del peso de Cemento

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	8.29 kg/ ft3
Piedra 3/4"	50.33 kg/ ft3
Arena	NO APLICA kg/ ft3
Agua	3.32 kg/ ft3
Aditivo - SIKA	0.05 kg/ ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	6.07
Arena	NO APLICA
Agua	0.40
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.6: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP3-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

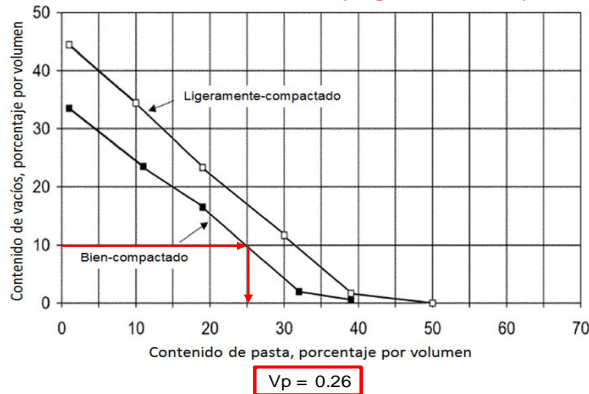
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Específico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP4-S

Relacion a/c	0.30
Contenido de Vacios	10%
Arena	SIN FINOS
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{\text{Grava}}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (\text{grava}) \times ((1 + \text{Absorción}))$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 421.08 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.150 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$\text{agua} = 126.324 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.126 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.916 \text{ m}^3$$

\* Para confirma el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 8\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	421.08 kg/m3
Piedra 3/4"	1777.48 kg/m3
Arena	NO APLICA kg/m3
Agua	126.32 kg/m3
Aditivo - SIKA	2.53 kg/m3

Dosis de Aditivo:  
(SIKA - Viscocrete 1110 PE)  
0.6 % del peso de Cemento

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	11.92 kg/ ft3
Piedra 3/4"	50.33 kg/ ft3
Arena	NO APLICA kg/ ft3
Agua	3.58 kg/ ft3
Aditivo - SIKA	0.07 kg/ ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	4.22
Arena	NO APLICA
Agua	0.3
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.7: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP4-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

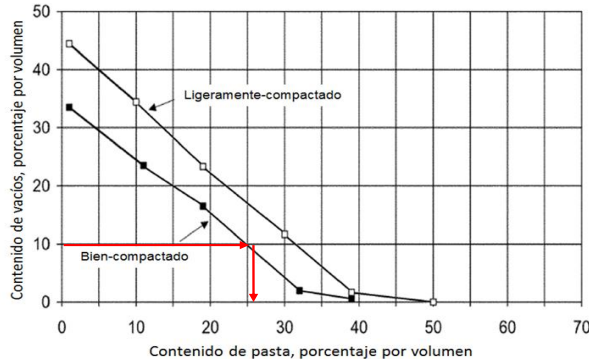
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Específico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP5-S

Relacion a/c	0.35
Contenido de Vacios	10%
Arena	SIN FINOS
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$\begin{aligned} V_p &= 0.26 \\ C. \text{ Vacios} &= 0.10 \\ V_v &= 0.36 \end{aligned}$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. Grava (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. Grava (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$Wg(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$Wg(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 389.54 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.139 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 136.339 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.136 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.915 \text{ m}^3$$

#### \* Para confirmar el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido de Vacios = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	389.54 kg/m3	Dosis de Aditivo: (SIKA - Viscocrete 1110 PE) 0.6 % del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1777.48 kg/m3	
Arena	NO APLICA kg/m3	
Agua	136.34 kg/m3	
Aditivo - SIKA	2.34 kg/m3	

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	11.03 kg/ ft3
Piedra 3/4"	50.33 kg/ ft3
Arena	NO APLICA kg/ ft3
Agua	3.86 kg/ ft3
Aditivo - SIKA	0.07 kg/ ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	4.56
Arena	NO APLICA
Agua	0.35
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.8: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP5-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

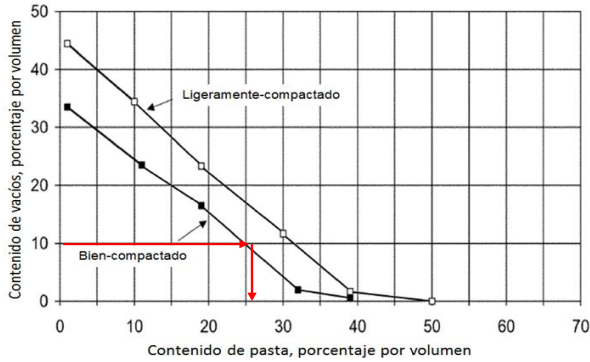
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Específico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP6-S

Relacion a/c	0.40
Contenido de Vacios	10%
Arena	SIN FINOS
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{\text{Grava}}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (\text{grava}) \times ((1 + \text{Absorción}))$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 362.39 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.129 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$\text{agua} = 144.956 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.145 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.914 \text{ m}^3$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	362.39 kg/m3
Piedra 3/4"	1777.48 kg/m3
Arena	NO APLICA kg/m3
Agua	144.96 kg/m3
Aditivo - SIKA	2.17 kg/m3

Dosis de Aditivo:  
(SIKA - Viscocrete 1110 PE)  
0.6 % del peso de Cemento

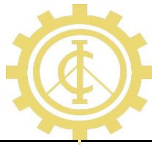
#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	10.26 kg/ ft3
Piedra 3/4"	50.33 kg/ ft3
Arena	NO APLICA kg/ ft3
Agua	4.10 kg/ ft3
Aditivo - SIKA	0.06 kg/ ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	4.90
Arena	NO APLICA
Agua	0.40
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.9: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP6-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

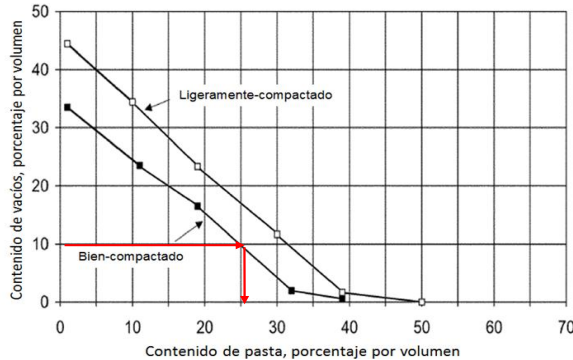
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP7-S

Relacion a/c	0.30
Contenido de Vacios	10%
Arena	20%
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$Wg(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$Wg(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 421.08 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.150 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 126.324 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.126 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.916 \text{ m}^3$$

\* Considerando 20 % de arena, la grava sería al 80 %

$$V_{67} = V_g \times 0.80\%$$

$$V_{67} = 0.512$$

$$V_{are} = V_g \times 0.20\%$$

$$V_{are} = 0.128$$

$$Grava = 1421.981 \text{ kg}$$

$$Arena = 355.495 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacíos

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 8\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	421.08 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	126.32 kg/m3
Aditivo - SIKA	2.53 kg/m3

Dosis de Aditivo:	
(SIKA - Viscocrete 1110 PE)	0.6 % del peso de Cemento

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

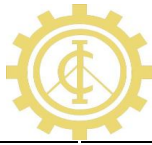
Cemento IP	11.92 kg/ft3
Piedra 3/4"	40.27 kg/ft3
Arena	10.07 kg/ft3
Agua	3.58 kg/ft3
Aditivo - SIKA	0.07 kg/ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	3.38
Arena	0.84
Agua	0.30
Aditivo - SIKA	0.26

lt/bolsa

Tabla 3.10: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP7-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

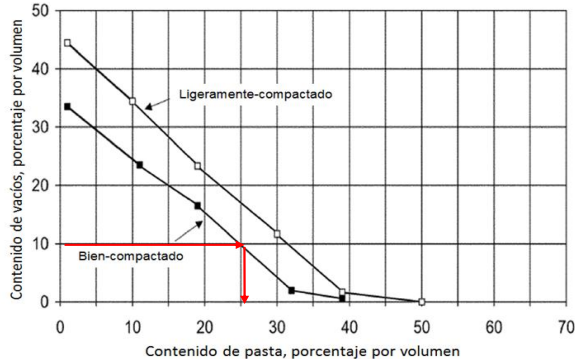
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP8-S

Relacion a/c	0.35
Contenido de Vacios	10%
Arena	20%
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$\begin{aligned} V_p &= 0.26 \\ C. \text{ Vacios} &= 0.10 \\ V_v &= 0.36 \end{aligned}$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. Grava (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. Grava (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$Wg(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$Wg(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 389.54 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.139 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 136.339 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.136 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.915 \text{ m}^3$$

\* Considerando 20 % de arena, la grava sería al 80 %

$$V_{67} = V_g \times 0.80\%$$

$$V_{are} = V_g \times 0.20\%$$

$$V_{67} = 0.512$$

$$V_{are} = 0.128$$

$$Grava = 1421.981 \text{ kg}$$

$$Arena = 355.495 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacíos

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido de Vacios = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	389.54 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	136.339 kg/m3
Aditivo - SIKA	2.34 kg/m3

Dosis de Aditivo: (SIKA - Viscocrete 1110 PE)	0.6 % del peso de Cemento
--	---------------------------

\* ADICIÓN DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3 (Según Norma)

#### 11.- Nuevos pesos a utilizar

Cemento IP	450.00 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	157.50 kg/m3
Aditivo - SIKA	2.70 kg/m3

Dosis de Aditivo: (SIKA - Viscocrete 1110 PE)	0.6 % del peso de Cemento
--	---------------------------

#### 12.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	12.74 kg/ft3
Piedra 3/4"	40.27 kg/ft3
Arena	10.07 kg/ft3
Agua	4.46 kg/ft3
Aditivo - SIKA	0.08 kg/ft3

#### 13.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	3.16
Arena	0.79
Agua	0.35
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.11: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP8-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE

NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

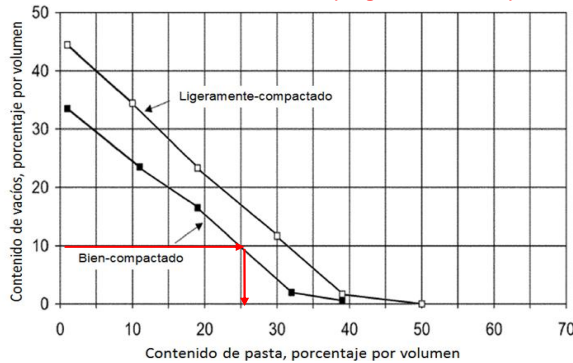
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP9-S

Relacion a/c	0.40
Contenido de Vacios	10%
Arena	20%
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$\begin{aligned} V_p &= 0.26 \\ C. \text{ Vacios} &= 0.10 \\ V_v &= 0.36 \end{aligned}$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. Grava (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. Grava (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 362.39 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.129 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 144.956 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.145 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.914 \text{ m}^3$$

\* Considerando 20 % de arena, la grava sería al 80 %

$$V_{67} = V_g \times 0.80\%$$

$$V_{are} = V_g \times 0.20\%$$

$$V_{67} = 0.512$$

$$V_{are} = 0.128$$

$$Grava = 1421.981 \text{ kg}$$

$$Arena = 355.495 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacíos

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido de Vacios = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	362.39 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	144.956 kg/m3
Aditivo - SIKA	2.17 kg/m3

Dosis de Aditivo:
(SIKA - Viscocrete 1110 PE)
0.6 % del peso de Cemento

\* ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3 (Según Norma)

#### 11.- Nuevos pesos a utilizar

Cemento IP	450.00 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	180.00 kg/m3
Aditivo - SIKA	2.70 kg/m3

Dosis de Aditivo:
(SIKA - Viscocrete 1110 PE)
0.6 % del peso de Cemento

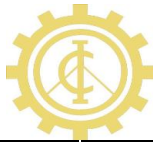
#### 12.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	12.74 kg/ft3
Piedra 3/4"	40.27 kg/ft3
Arena	10.07 kg/ft3
Agua	5.10 kg/ft3
Aditivo - SIKA	0.08 kg/ft3

#### 13.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	3.16
Arena	0.79
Agua	0.40
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.12: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP9-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

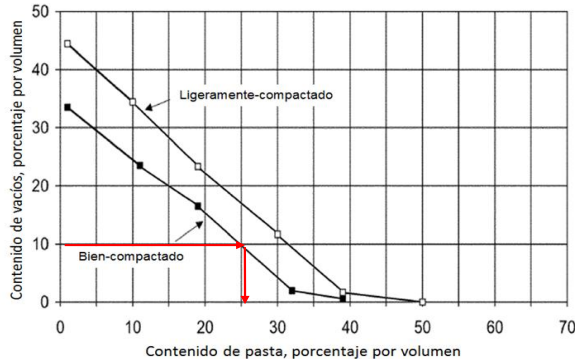
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP10-S

Relacion a/c	0.30
Contenido de Vacios	10%
Arena	10%
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{\text{Grava}}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (\text{grava}) \times (1 + \text{Absorción})$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 421.08 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.150 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$\text{agua} = 126.324 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.126 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Solidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.916 \text{ m}^3$$

\* Considerando 10 % de arena, la grava seria al 90 %

$$V_{67} = V_g \times 0.90\%$$

$$V_{67} = 0.576$$

$$V_{are} = V_g \times 0.10\%$$

$$V_{are} = 0.064$$

$$\text{Grava} = 1599.728 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 177.748 \text{ kg}$$

\* Para confirma el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$\text{Contenido de Vacios} = 8\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	421.08 kg/m3	Dosis de Aditivo: (SIKA - Viscocrete 1110 PE) 0.6 % del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1599.73 kg/m3	
Arena	177.75 kg/m3	
Agua	126.32 kg/m3	
Aditivo - SIKA	2.53 kg/m3	

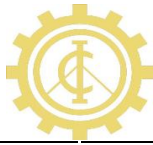
#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	11.92 kg/ ft3
Piedra 3/4"	45.30 kg/ ft3
Arena	5.03 kg/ ft3
Agua	3.58 kg/ ft3
Aditivo - SIKA	0.07 kg/ ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	3.80
Arena	0.42
Agua	0.3
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.13: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP10-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

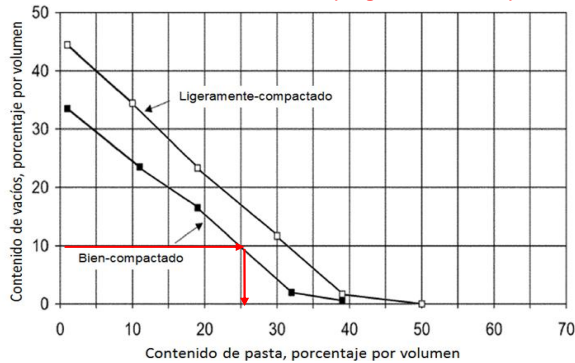
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP11-S

Relacion a/c	0.35
Contenido de Vacios	10%
Arena	10%
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$Wg(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$Wg(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 389.54 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.139 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 136.339 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.136 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.915 \text{ m}^3$$

\* Considerando 10 % de arena, la grava sería al 90 %

$$V_{67} = V_g \times 0.90\%$$

$$V_{are} = V_g \times 0.10\%$$

$$V_{67} = 0.576$$

$$V_{are} = 0.064$$

$$Grava = 1599.728 \text{ kg}$$

$$Arena = 177.748 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	389.54 kg/m3	Dosis de Aditivo: (SIKA - Viscocrete 1110 PE) 0.6 % del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1599.73 kg/m3	
Arena	177.75 kg/m3	
Agua	136.34 kg/m3	
Aditivo - SIKA	2.34 kg/m3	

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	11.03 kg/ft3
Piedra 3/4"	45.30 kg/ft3
Arena	5.03 kg/ft3
Agua	3.86 kg/ft3
Aditivo - SIKA	0.07 kg/ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	4.11
Arena	0.46
Agua	0.35
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.14: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP11-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

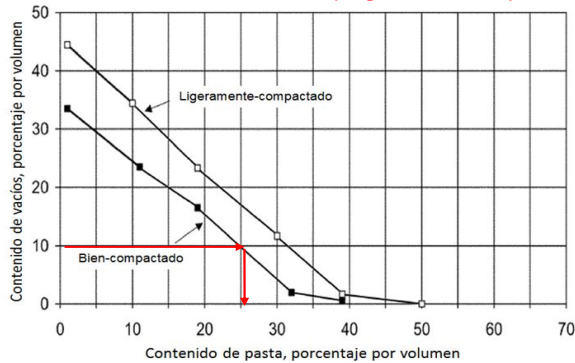
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP12-S

Relacion a/c	0.40
Contenido de Vacios	10%
Arena	10%
Aditivo Viscocrete 1110	0.60%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$Wg(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$Wg(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 362.39 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.129 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 144.956 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.145 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.914 \text{ m}^3$$

\* Considerando 10 % de arena, la grava sería al 90 %

$$V_{67} = V_g \times 0.90\%$$

$$V_{are} = V_g \times 0.10\%$$

$$V_{67} = 0.576$$

$$V_{are} = 0.064$$

$$Grava = 1599.728 \text{ kg}$$

$$Arena = 177.748 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacíos

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	362.39 kg/m3	Dosis de Aditivo: (SIKA - Viscocrete 1110 PE) 0.6 % del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1599.73 kg/m3	
Arena	177.75 kg/m3	
Agua	144.96 kg/m3	
Aditivo - SIKA	2.17 kg/m3	

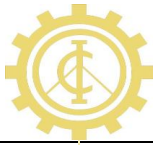
#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	10.26 kg/ft3
Piedra 3/4"	45.30 kg/ft3
Arena	5.03 kg/ft3
Agua	4.10 kg/ft3
Aditivo - SIKA	0.06 kg/ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	4.41
Arena	0.49
Agua	0.40
Aditivo - SIKA	0.26

Tabla 3.15: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP12-S.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

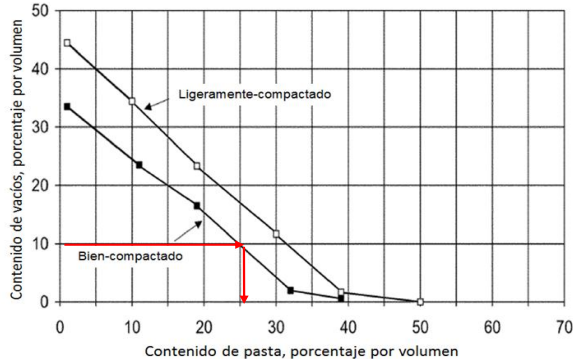
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP13-E

Relacion a/c	0.30
Contenido de Vacios	10%
Arena	20%
Aditivo Neoplast 8500 HP	0.25%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 421.08 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.150 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 126.324 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.126 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.916 \text{ m}^3$$

\* Considerando 20 % de arena, la grava sería al 80 %

$$V_{67} = V_g \times 0.80\%$$

$$V_{are} = V_g \times 0.20\%$$

$$V_{67} = 0.512$$

$$V_{are} = 0.128$$

$$Grava = 1421.981 \text{ kg}$$

$$Arena = 355.495 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 8\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	421.08 kg/m3	Dosis de Aditivo: (EUCCO - Neoplast 8500 HP) 0.25 % del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3	
Arena	355.50 kg/m3	
Agua	126.32 kg/m3	
Aditivo - EUCCO	1.05 kg/m3	

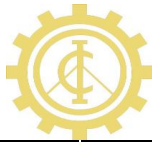
#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	11.92 kg/ ft3
Piedra 3/4"	40.27 kg/ ft3
Arena	10.07 kg/ ft3
Agua	3.58 kg/ ft3
Aditivo - EUCCO	0.03 kg/ ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	3.38
Arena	0.84
Agua	0.30
Aditivo - EUCCO	0.11

Tabla 3.16: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP13-E.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

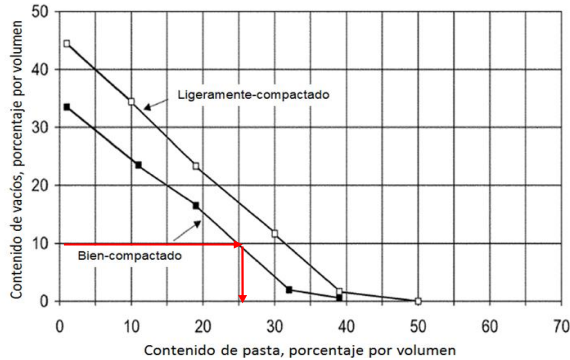
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Específico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP14-E

Relacion a/c	0.35
Contenido de Vacios	10%
Arena	20%
Aditivo Neoplast 8500 HP	0.25%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 389.54 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.139 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 136.339 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.136 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.915 \text{ m}^3$$

\* Considerando 20 % de arena, la grava sería al 80 %

$$V_{67} = V_g \times 0.80\%$$

$$V_{67} = 0.512$$

$$V_{are} = V_g \times 0.20\%$$

$$V_{are} = 0.128$$

$$Grava = 1421.981 \text{ kg}$$

$$Arena = 355.495 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	389.54 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	136.339 kg/m3
Aditivo - EUCO	0.97 kg/m3

Dosis de Aditivo:	
(EUCO - Neoplast 8500 HP)	0.25 % del peso de Cemento

\* ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

(Según Norma)

#### 11.- Nuevos pesos a utilizar

Cemento IP	450.00 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	157.50 kg/m3
Aditivo - EUCO	1.13 kg/m3

Dosis de Aditivo:	
(EUCO - Neoplast 8500 HP)	0.25 % del peso de Cemento

#### 12.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	12.74 kg/ft3
Piedra 3/4"	40.27 kg/ft3
Arena	10.07 kg/ft3
Agua	4.46 kg/ft3
Aditivo - EUCO	0.03 kg/ft3

#### 13.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	3.16
Arena	0.79
Agua	0.35
Aditivo - EUCO	0.11

Tabla 3.17: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP14-E.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

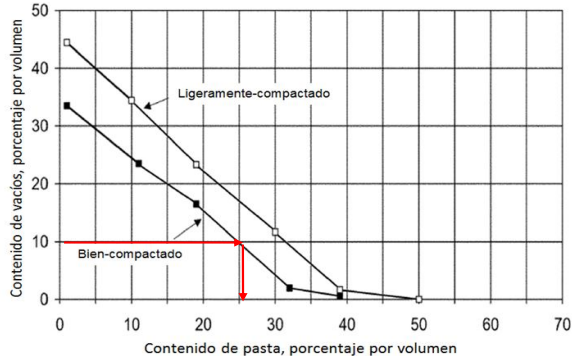
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Específico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP15-E

Relacion a/c	0.40
Contenido de Vacios	10%
Arena	20%
Aditivo Neoplast 8500 HP	0.25%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + V_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 389.54 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.139 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 155.816 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.156 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.934 \text{ m}^3$$

\* Considerando 20 % de arena, la grava sería al 80 %

$$V_{67} = V_g \times 0.80\%$$

$$V_{67} = 0.512$$

$$V_{are} = V_g \times 0.20\%$$

$$V_{are} = 0.128$$

$$Grava = 1421.981 \text{ kg}$$

$$Arena = 355.495 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 7\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	389.54 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	155.816 kg/m3
Aditivo - EUCO	0.97 kg/m3

Dosis de Aditivo:
(EUCCO - Neoplast 8500 HP)
0.25 % del peso de Cemento

\* ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

(Según Norma)

#### 11.- Nuevos pesos a utilizar

Cemento IP	450.00 kg/m3
Piedra 3/4"	1421.98 kg/m3
Arena	355.50 kg/m3
Agua	180.00 kg/m3
Aditivo - EUCCO	1.13 kg/m3

Dosis de Aditivo:
(EUCCO - Neoplast 8500 HP)
0.25 % del peso de Cemento

#### 12.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	12.74 kg/ft3
Piedra 3/4"	40.27 kg/ft3
Arena	10.07 kg/ft3
Agua	5.10 kg/ft3
Aditivo - EUCCO	0.03 kg/ft3

#### 13.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	3.16
Arena	0.79
Agua	0.40
Aditivo - EUCCO	0.11

Tabla 3.18: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP15-E.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

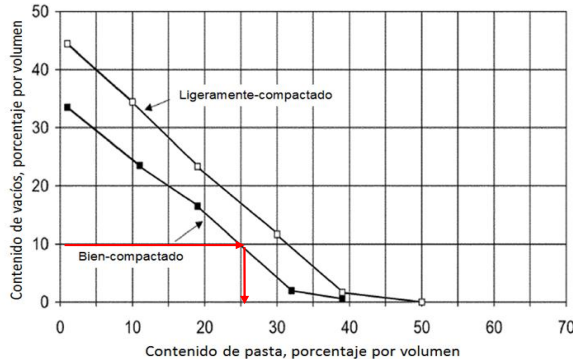
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP16-E

Relacion a/c	0.30
Contenido de Vacios	10%
Arena	10%
Aditivo Neoplast 8500 HP	0.25%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$Wg(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$Wg(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 421.08 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.150 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 126.324 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.126 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.916 \text{ m}^3$$

\* Considerando 10% de arena, la grava sería al 90%

$$V_{67} = V_g \times 0.90\%$$

$$V_{67} = 0.576$$

$$V_{are} = V_g \times 0.10\%$$

$$V_{are} = 0.064$$

$$Grava = 1599.728 \text{ kg}$$

$$Arena = 177.748 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacíos

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 8\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	421.08 kg/m3	Dosis de Aditivo: (EUCCO - Neoplast 8500 HP) 0.25% del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1599.73 kg/m3	
Arena	177.75 kg/m3	
Agua	126.32 kg/m3	
Aditivo - EUCCO	1.05 kg/m3	

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	11.92 kg/ft3
Piedra 3/4"	45.30 kg/ft3
Arena	5.03 kg/ft3
Agua	3.58 kg/ft3
Aditivo - EUCCO	0.03 kg/ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	3.80
Arena	0.42
Agua	0.30
Aditivo - EUCCO	0.11

Tabla 3.19: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP16-E.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

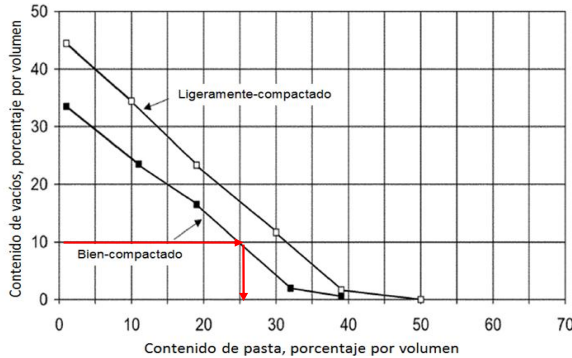
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP17-E

Relacion a/c	0.35
Contenido de Vacios	10%
Arena	10%
Aditivo Neoplast 8500 HP	0.25%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{\text{Grava}}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$\text{Grava} = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$Wg(sss) = (\text{grava}) \times (1 + \text{Absorción})$$

$$Wg(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$\text{Cemento} = 389.54 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.139 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$\text{agua} = 136.339 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.136 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.915 \text{ m}^3$$

\* Considerando 10 % de arena, la grava sería al 90 %

$$V_{67} = V_g \times 0.90\%$$

$$V_{67} = 0.576$$

$$V_{are} = V_g \times 0.10\%$$

$$V_{are} = 0.064$$

$$\text{Grava} = 1599.728 \text{ kg}$$

$$\text{Arena} = 177.748 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacios

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$\text{Contenido de Vacios} = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	389.54 kg/m3	Dosis de Aditivo: (EUCCO - Neoplast 8500 HP) 0.25 % del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1599.73 kg/m3	
Arena	177.75 kg/m3	
Agua	136.34 kg/m3	
Aditivo - EUCCO	0.97 kg/m3	

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	11.03 kg/ft3
Piedra 3/4"	45.30 kg/ft3
Arena	5.03 kg/ft3
Agua	3.86 kg/ft3
Aditivo - EUCCO	0.03 kg/ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	4.11
Arena	0.46
Agua	0.35
Aditivo - EUCCO	0.11

Tabla 3.20: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP17-E.  
Fuente: Propia.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO PERMEABLE NORMA: ACI 522R-10

#### 1.- Características Físicas de Cemento - Agregado - Aditivo

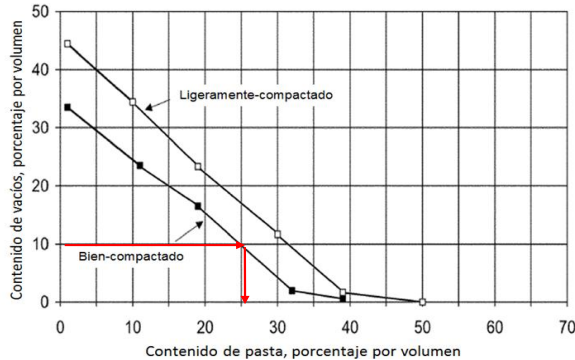
MATERIALES	CANTERA Procedencia	Peso Especifico	% Absorción	Modulo Finura	Peso Unitario Suelto	Peso Unitario Compactado	% Humedad
Cemento Tipo IP	Yura S. A.	2810					
Agua	Laboratorio	1000					
Arena	Poderosa	2667	1.54	2.87	1636	1809	0.20
Piedra 3/4" Huso 67	Poderosa	2758	0.70	6.52	1463	1648	0.16
Viscocrete 1110	Sika	1060					
Neoplast 8500 HP	Euco	1100					

#### 2.- Características del Diseño de Mezcla

### DISEÑO PP18-E

Relacion a/c	0.40
Contenido de Vacios	10%
Arena	10%
Aditivo Neoplast 8500 HP	0.25%

#### 3.- Determinación del Volumen de Pasta (Según ACI 211R-10)



$$V_p = 0.26$$

$$V_p = 0.26$$

$$C. \text{ Vacios} = 0.10$$

$$V_v = 0.36$$

#### 4.- Volumen de Grava (Vg)

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 1 - (V_p + C_v)$$

$$Vol. \text{ Grava } (V_g) = 0.64$$

$$0.64 = \frac{Grava}{P. \text{ esp Grava}}$$

$$Grava = 1765.120 \text{ kg}$$

Ajuste del Peso en estado saturado Superficialmente seco (SSS)

$$W_g(sss) = (grava) \times (1 + Absorción)$$

$$W_g(sss) = 1777.476 \text{ kg}$$

#### 5.- Cantidad de Cemento (C)

$$V_p = \frac{C}{3.15 \times 1000} + \frac{(a/c) C}{1000}$$

$$Cemento = 362.39 \text{ kg}$$

#### 6.- Determinación del Volumen de Cemento (Vc)

$$V_c = \frac{C}{P. \text{ esp cemento}}$$

$$V_c = 0.129 \text{ m}^3$$

#### 7.- Determinación del Contenido de Agua (a)

$$a = C \times (a/c)$$

$$agua = 144.956 \text{ kg}$$

#### 8.- Determinación del Volumen de Agua (Va)

$$V_a = \frac{a}{P. \text{ esp agua}}$$

$$V_a = 0.145 \text{ m}^3$$

#### 9.- Volumen total de Sólidos (Vs)

$$V_s = V_g + V_c + V_a$$

$$V_s = 0.914 \text{ m}^3$$

\* Considerando 10 % de arena, la grava sería al 90 %

$$V_{G7} = V_g \times 0.90\%$$

$$V_{G7} = 0.576$$

$$V_{A7} = V_g \times 0.10\%$$

$$V_{A7} = 0.064$$

$$Grava = 1599.728 \text{ kg}$$

$$Arena = 177.748 \text{ kg}$$

\* Para confirmar el Porcentaje de vacíos

$$Cont. \text{ Vacios} = (1 - V_s) \times 100$$

$$Contenido \text{ de Vacios} = 9\% \sim 10\%$$

#### 10.- Dosificación del Concreto Permeable (m3)

Cemento IP	362.39 kg/m3	Dosis de Aditivo: (EUCCO - Neoplast 8500 HP) 0.25 % del peso de Cemento
Piedra 3/4"	1599.73 kg/m3	
Arena	177.75 kg/m3	
Agua	144.96 kg/m3	
Aditivo - EUCCO	0.91 kg/m3	

#### 11.- Dosificación del Concreto Permeable (ft3)

Cemento IP	10.26 kg/ft3
Piedra 3/4"	45.30 kg/ft3
Arena	5.03 kg/ft3
Agua	4.10 kg/ft3
Aditivo - EUCCO	0.03 kg/ft3

#### 12.- Proporciones en pesos

Cemento IP	1
Piedra 3/4"	4.41
Arena	0.49
Agua	0.40
Aditivo - EUCCO	0.11

Tabla 3.21: Cálculo de Diseño de mezcla de Concreto Permeable PP18-E.  
Fuente: Propia.

# ***CAPÍTULO IV: PROPIEDADES DEL CONCRETO***

## ***PERMEABLE***

### **4.1 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

Se debe enfatizar la importancia de la obtención de muestras realmente representativas del concreto fresco para los ensayos de control. A menos que la muestra sea representativa, los resultados de las pruebas serán engañosos. Las muestras se deben obtener y manejar de acuerdo con ASTM C 172 y la NTP 339.036. Por lo menos la muestra debe ser de, 28 litros (1 pie<sup>3</sup>) una vez obtenida la muestra, se tienen 15 minutos para realizar todos los ensayos, tales como: determinación de la temperatura, asentamiento o revenimiento del concreto, peso unitario y contenido de aire.

#### **4.1.1 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA DEL CONCRETO**

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-1064 y NTP 339.184

##### **a.- Objetivo**

- Determinar la temperatura del concreto fresco para verificar el cumplimiento de los requerimientos especificados.

##### **b.- Equipos y herramientas**

- Carretilla tipo bugui (o material no absorbente y de dimensiones que permita un recubrimiento de 3" (7.5cm) en todas las direcciones)
- Termómetro (con una variación de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  de un rango entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $50^{\circ}\text{C}$ )

c.- Procedimiento

- Introducir el termómetro de manera que quede cubierto al menos 7,5 cm. Presionar suavemente el concreto alrededor del termómetro para que la temperatura ambiente no altere la lectura.
- Dejar el termómetro por lo menos 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.
- Leer la temperatura y anotarla.
- Completar la medición dentro de los 5 minutos a la toma de la muestra.
- La temperatura del concreto no debe ser menor a los 6 °C ni mayor a los 32 °C. (Tabla 4.1)





Fig. 4.1: Introducir el termómetro y esperar por lo menos 2 minutos.  
Fuente: Propia.

Descripción		Criterio de Aceptación ASTM C 94/C 94M-07 - NTP 339.114				
		Sección mm	<300	300 - 900	900 - 1800	> 1800
<b>Clima frío</b>	Temp. mínima	°C	13	10	7	5
	Temp. máxima	32 °C				
<b>Clima cálido</b>	T = Mas baja posible. Si T ≈ 32 °C se puede encontrar dificultades					

Tabla 4.1: Criterios de aceptación del Concreto.

## d.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA DEL CONCRETO**  
**NORMA: ASTM: C - 1064 - NTP 339.184**

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	HORA DE ENSAYO	TEMPERATURA		TEMPERATURA PROMEDIO DEL CONCRETO (°C)
				AMBIENTE (°C)	CONCRETO (°C)	
1	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacíos, SIN FINOS	01-09-16	10:10	22.5	19.9	20.1
1	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacíos, SIN FINOS	01-09-16	11:30	23.9	20.3	
2	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacíos, SIN FINOS	31-08-16	10:20	21.5	20.1	20.2
2	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacíos, SIN FINOS	31-08-16	12:05	23.4	20.3	
3	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacíos, SIN FINOS	05-09-16	11:30	24.0	19.8	19.7
3	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacíos, SIN FINOS	05-09-16	12:45	23.4	19.5	
4	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	06-09-16	09:45	16.5	18.2	18.4
4	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	06-09-16	11:35	19.8	18.5	
5	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, SIN FINOS	09-09-16	11:45	23.2	24.8	25.1
5	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, SIN FINOS	09-09-16	12:30	22.2	25.3	
6	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	12-09-16	10:48	24.1	25.2	25.1
6	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	12-09-16	12:05	24.2	25.0	
7	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	13-09-16	11:40	24.4	26.2	26.0
7	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	13-09-16	12:30	23.9	25.7	
8	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	20-09-16	11:20	24.9	22.3	22.4
8	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	20-09-16	12:43	25.0	22.4	
9	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	21-09-16	11:05	25.3	22.4	22.3
9	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	21-09-16	12:40	26.1	22.2	
10	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	22-09-16	10:00	24.7	23.4	23.8
10	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	22-09-16	11:41	24.4	24.2	
11	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	23-09-16	10:00	24.5	23.2	23.3
11	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	23-09-16	11:10	25.2	23.3	
12	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28-09-16	09:50	23.6	22.3	23.2
12	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28-09-16	11:03	26.0	24.1	
13	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	29-09-16	11:50	25.8	21.5	21.4
13	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	29-09-16	13:12	23.2	21.2	
14	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	30-09-16	10:20	25.2	24.3	24.5
14	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	30-09-16	11:49	26.0	24.6	
15	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	04-10-16	08:05	19.0	22.0	22.1
15	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	04-10-16	12:40	26.1	22.2	
16	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	07-10-16	08:45	18.9	19.8	21.5
16	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	07-10-16	10:55	26.0	23.2	
17	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	10-10-16	10:00	24.5	23.2	23.2
17	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	10-10-16	11:10	25.2	23.2	
18	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	11-10-16	09:50	23.6	22.3	22.2
18	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	11-10-16	11:42	25.3	22.0	

**Tabla 4.2: Cálculo de la Temperatura del Concreto Permeable.**  
**Fuente: Propia.**

#### 4.1.2 ASENTAMIENTO DE CONCRETO FRESCO CON EL CONO DE ABRAMS

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-143 y NTP 339.035

##### a.- Objetivo

- Determinar la consistencia de la mezcla por el método del asentamiento. El asentamiento es un índice de la consistencia del concreto.
- Verificar el asentamiento (asentamiento cero). Con la inclusión de aditivos se obtiene un asentamiento máximo de 6 pulgadas.

##### b.- Equipos y herramientas

- Cono de Abrams: debe ser de espesor mínimo de 1.5 mm. El molde debe tener un diámetro de 200 mm. (8 pulgadas) en la base inferior, un diámetro superior de 100 mm. (4 pulgadas) y una altura de 300 mm. (12 pulgadas), El interior del cono deberá ser liso.
- Barra Compactadora: Barra cilíndrica de acero liso con punta semiesférica, de 16 mm. de diámetro (5/8 pulgada) y aproximadamente 600 mm. de longitud.
- Flexómetro, la longitud del dispositivo deberá ser por lo menos 300 mm.
- Cucharón, de tamaño apropiado y forma adecuada para obtener la cantidad suficiente y representativa de concreto.

##### c.- Procedimiento

- Humedecer todos los aparatos a utilizar.
- Colocar el cono en una base plana, no absorbente.
- Mantener el cono firme contra la base, parándose sobre las dos aletas.
- Llenar el concreto en 3 capas de aproximadamente 1/3 del volumen del cono cada una.

- Compactar con la varilla cada capa con 25 golpes. Distribuirlos en toda el área y aplicarlos comenzando cerca del molde y acercándose en espiral hacia el centro de la sección. Mantener la misma intensidad en todos los golpes.
- Levantar el cono verticalmente de 5 a 7 segundos.
- Medir la distancia entre la altura del molde y el centro de la cara superior del concreto, con una aproximación de  $\frac{1}{4}$ " o ( $\frac{1}{2}$  cm. ).
- El tiempo máximo del ensayo debe durar 2 minutos y medio.

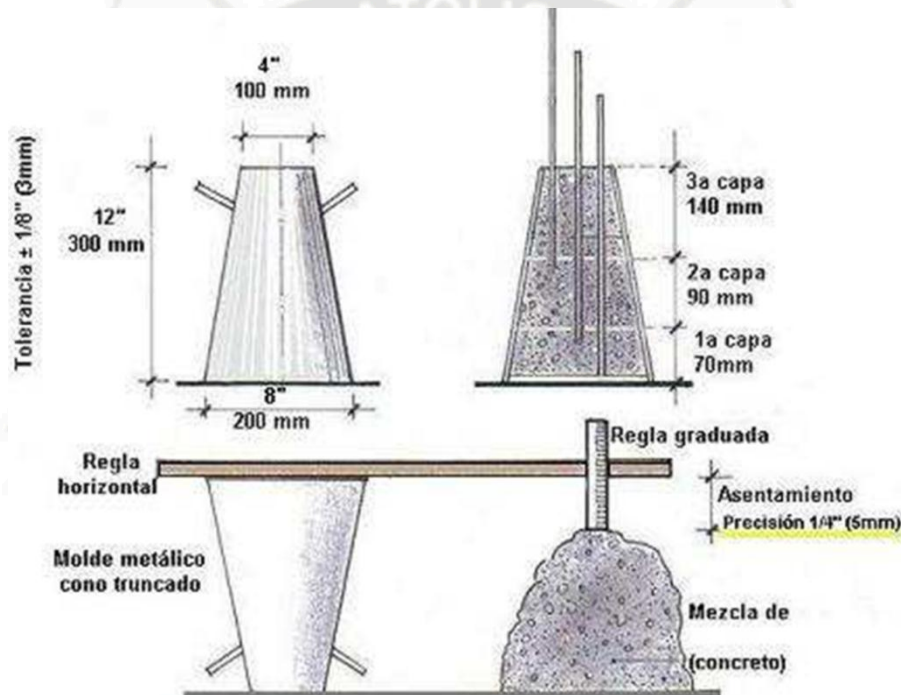


Fig. 4.2: Llenar el concreto en 3 capas de aproximadamente  $\frac{1}{3}$  del volumen del cono cada una.

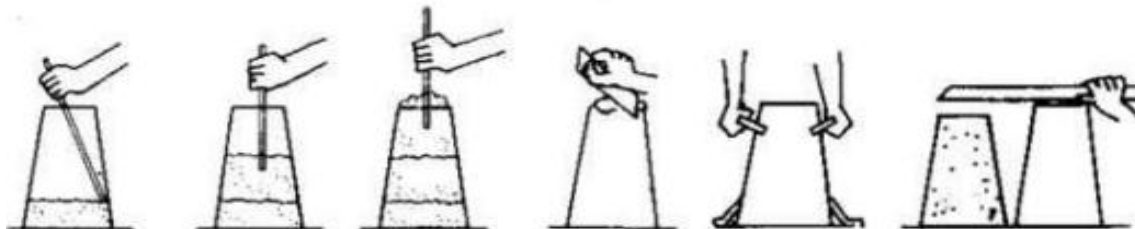


Fig. 4.3: Compactar con la varilla cada capa con 25 golpes. Distribuirlos en toda el área.



**Fig. 4.4: Levantar el cono verticalmente de 5 a 7 segundos.**  
Fuente: Propia.


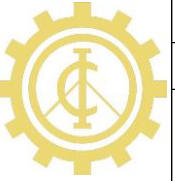


**Fig. 4.5: Medir la distancia entre la altura del molde.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.6: Medir la distancia entre la altura del molde (el asentamiento mejora con aditivo).**  
Fuente: Propia.

## d.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</b>	

<b>ENSAYO: ASENTAMIENTO DE CONCRETO FRESCO CON EL CONO DE ABRAMS</b> <b>NORMA: ASTM C-143 - NTP 339.035</b>
--

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	HORA DE ENSAYO	SLUMP (cm)	SLUMP (")	SLUMP PROMEDIO (")
1	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacíos, SIN FINOS	01-09-16	10:10	0.0	0	0
1	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacíos, SIN FINOS	01-09-16	11:30	0.0	0	
2	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacíos, SIN FINOS	31-08-16	10:20	12.5	5	5 1/4
2	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacíos, SIN FINOS	31-08-16	12:05	14.0	5 1/2	
3	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacíos, SIN FINOS	05-09-16	11:30	18.0	7	7
3	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacíos, SIN FINOS	05-09-16	12:45	18.5	7 1/4	
4	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	06-09-16	09:45	1.5	1/2	1/2
4	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	06-09-16	11:35	1.5	1/2	
5	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, SIN FINOS	09-09-16	11:45	17.0	6 3/4	6 1/4
5	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, SIN FINOS	09-09-16	12:30	15.0	6	
6	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	12-09-16	10:48	16.5	6 1/2	6 1/4
6	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	12-09-16	12:05	16.0	6 1/4	
7	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	13-09-16	11:40	1.5	1/2	1/2
7	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	13-09-16	12:30	1.5	1/2	
8	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	20-09-16	11:20	2.5	1	1
8	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	20-09-16	12:43	3.0	1 1/4	
9	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	21-09-16	11:05	6.5	2 1/2	2 3/4
9	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	21-09-16	12:40	7.5	3	
10	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	22-09-16	10:00	0.0	0	1/4
10	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	22-09-16	11:41	1.5	1/2	
11	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	23-09-16	10:00	10.0	4	4
11	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	23-09-16	11:10	10.0	4	
12	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28-09-16	09:50	11.5	4 1/2	4 3/4
12	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28-09-16	11:03	12.5	5	
13	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	29-09-16	11:50	1.5	1/2	1/2
13	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	29-09-16	13:12	1.5	1/2	
14	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	30-09-16	10:20	5.0	2	1 3/4
14	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	30-09-16	11:49	4.0	1 1/2	
15	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	04-10-16	08:05	5.0	2	2 1/4
15	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	04-10-16	12:40	6.5	2 1/2	
16	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	07-10-16	08:45	15.0	6	5
16	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	07-10-16	10:55	10.0	4	
17	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	10-10-16	10:00	16.5	6 1/2	6 1/4
17	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	10-10-16	11:10	15.0	6	
18	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	11-10-16	09:50	18.0	7	7
18	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	11-10-16	11:42	18.5	7 1/4	

**Tabla 4.3: Cálculo del Asentamiento del Concreto fresco.**  
**Fuente: Propia.**

### 4.1.3 REVENIMIENTO DE CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS INVERTIDO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-995

#### a.- Objetivo

- Determinar el asentamiento horizontal de la mezcla.
- Verificar el asentamiento y la trabajabilidad del concreto permeable, midiendo la dificultad del paso de este por el orificio más pequeño, midiendo así el tiempo de caída y el diámetro de la mezcla.

#### b.- Equipos y herramientas

- Cono de Abrams: debe ser de espesor mínimo de 1.5 mm. El molde debe tener un diámetro de 200 mm. (8 pulgadas) en la base inferior, un diámetro superior de 100 mm. (4 pulgadas) y una altura de 300 mm. (12 pulgadas), El interior del cono deberá ser liso.
- Flexómetro, la longitud del dispositivo deberá ser por lo menos 300 mm.
- Cucharón, de tamaño apropiado y forma adecuada para obtener la cantidad suficiente y representativa de concreto.

#### c.- Procedimiento

- Humedecer todos los aparatos a utilizar.
- Colocar el cono en una base plana, no absorbente.
- Se procede al llenado del cono con el cucharón, de una manera constante y sin compactar.
- Una vez que se llena el cono, se procede a enrazar suavemente y se levanta lentamente el cono en dirección vertical.

- El tiempo máximo del ensayo debe ser de 1 minuto, desde que es llenado hasta que se termina de levantar el cono de forma vertical.
- El asentamiento se mide en forma horizontal con aproximación al 0.5 centímetro.




**Fig. 4.7: El asentamiento se mide en forma horizontal.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.8: El asentamiento se mide en forma horizontal.**  
Fuente: Propia.

## d.- Resultados

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</b>	

**ENSAYO: REVENIMIENTO DE CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS INVERTIDO  
NORMA: ASTM C-995**

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	HORA DE ENSAYO	SLUMP HORIZONTAL (cm)	SLUMP HORIZONTAL L (")	TIEMPO (s)	SLUMP HORIZONTAL PROMEDIO (")	TIEMPO PROMEDIO (s)
1	PP1 - SIKa (R a/c = 0.30) 15% vacíos, SIN FINOS	01-09-16	10:10	30.5	12	19.0	12	20
1	PP1 - SIKa (R a/c = 0.30) 15% vacíos, SIN FINOS	01-09-16	11:30	31.0	12 1/4	20.0		
2	PP2 - SIKa (R a/c = 0.35) 15% vacíos, SIN FINOS	31-08-16	10:20	38.0	15	17.0	15 1/4	18
2	PP2 - SIKa (R a/c = 0.35) 15% vacíos, SIN FINOS	31-08-16	12:05	39.5	15 1/2	18.0		
3	PP3 - SIKa (R a/c = 0.40) 15% vacíos, SIN FINOS	05-09-16	11:30	35.5	14	16	14 1/4	17
3	PP3 - SIKa (R a/c = 0.40) 15% vacíos, SIN FINOS	05-09-16	12:45	37.0	14 1/2	18		
4	PP4 - SIKa (R a/c = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	06-09-16	09:45	38.0	15	16.0	15	16
4	PP4 - SIKa (R a/c = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	06-09-16	11:35	38.5	15 1/4	15.0		
5	PP5 - SIKa (R a/c = 0.35) 10% vacíos, SIN FINOS	09-09-16	11:45	35.5	14	18.0	14	18
5	PP5 - SIKa (R a/c = 0.35) 10% vacíos, SIN FINOS	09-09-16	12:30	35.5	14	17.0		
6	PP6 - SIKa (R a/c = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	12-09-16	10:48	38.0	15	16.0	15 1/4	16
6	PP6 - SIKa (R a/c = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	12-09-16	12:05	39.5	15 1/2	16.0		
7	PP7 - SIKa (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	13-09-16	11:40	36.0	14 1/4	16.0	14 1/4	17
7	PP7 - SIKa (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	13-09-16	12:30	36.0	14 1/4	18.0		
8	PP8 - SIKa (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	20-09-16	11:20	35.6	14	14.0	14	14
8	PP8 - SIKa (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	20-09-16	12:43	35.6	14	14.0		
9	PP9 - SIKa (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	21-09-16	11:05	36.8	14 1/2	13.0	14 1/2	14
9	PP9 - SIKa (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	21-09-16	12:40	36.8	14 1/2	14.0		
10	PP10 - SIKa (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	22-09-16	10:00	33.0	13	17.0	12 3/4	17
10	PP10 - SIKa (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	22-09-16	11:41	32.0	12 1/2	17.0		
11	PP11 - SIKa (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	23-09-16	10:00	33.0	13	15.0	13 1/4	14
11	PP11 - SIKa (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	23-09-16	11:10	34.5	13 1/2	13.0		
12	PP12 - SIKa (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28-09-16	09:50	35.5	14	16.0	14	16
12	PP12 - SIKa (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	28-09-16	11:03	36.0	14 1/4	16.0		
13	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	29-09-16	11:50	40.5	16	17.0	16 1/4	17
13	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	29-09-16	13:12	42.0	16 1/2	16.0		
14	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	30-09-16	10:20	38.0	15	16.0	14 1/2	16
14	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	30-09-16	11:49	37.5	14 3/4	15.0		
15	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	04-10-16	08:05	35.5	14	15.0	14	16
15	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	04-10-16	12:40	35.5	14	16.0		
16	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	07-10-16	08:45	43.0	17	16.0	16 3/4	17
16	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	07-10-16	10:55	42.0	16 1/2	17.0		
17	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	10-10-16	10:00	42.0	16 1/2	16.0	16 1/2	16
17	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	10-10-16	11:10	42.5	16 3/4	16.0		
18	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	11-10-16	09:50	44.0	17 1/4	15.0	17	15
18	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	11-10-16	11:42	43.0	17	14.0		

**Tabla 4.4: Cálculo del Asentamiento Cono Invertido del Concreto fresco.  
Fuente: Propia.**

#### 4.1.4 PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-1688 y NTP 339.046

##### a.- Objetivo

- Determinar el peso unitario y el porcentaje de vacíos de la mezcla.

##### b.- Equipos y herramientas

- Balanza: Con exactitud de 50 g o dentro del rango de 0,1 % de la carga de ensayo.
- Martillo Proctor estándar: Dispositivo utilizado para compactar una muestra de concreto permeable que cumpla con el método de prueba D698.
- Olla Washington: medidor de aire.
- Placa o plancha de alisado.
- Mazo: Un mazo (con cabeza de caucho) que tenga una masa de  $600 \pm 200$  g para recipientes de medición de 14 L. o más pequeños.
- Cucharón.

##### c.- Procedimiento

- Humedecer todos los aparatos a utilizar.
- Llenar el concreto en 3 capas de aproximadamente 1/3 del recipiente cilíndrico (olla Washington).
- Compactar con el martillo proctor. Cada capa será compactada con 20 golpes (30 cm de altura). Distribuirlos en toda el área. Mantener la misma intensidad en todos los golpes.

- Golpear con el mazo de caucho de 14 a 16 golpes en los cuatro cuadrantes (por cada capa).
- Enrazar la superficie del concreto con la plancha de alisado.
- Limpiar completamente el exterior del recipiente y proceder a determinar el peso (kg).
- Para el caso del contenido de vacíos, se procederá a colocar la tapa de la olla Washington, con la ayuda de una botella o bombilla, se echa agua en la llave de purga, hasta que en la otra llave de purga salga agua de manera constante y sin burbujas.
- Cerrar las válvulas de alivio y bombear para que ingrese aire dentro de la cámara, hasta que la manecilla este sobre la línea amarilla.
- Golpear levemente el manómetro, de manera que se estabilice la manecilla, si fuera el caso bombee hasta alcanzar la marca amarilla.
- Llene un poco más de agua y cierre las válvulas de purga.
- Presionar el percutor de aire y dar golpes con el martillo de goma al costado de la olla.
- Lea el porcentaje de aire atrapado en la olla Washington.

#### d.- Cálculos

- Peso Unitario

$$PU \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \frac{\text{peso total}(kg) - \text{peso recipiente} (kg)}{\text{volumen del recipiente} (m^3)}$$



**Fig.4.9: Compactar con el martillo Proctor. Cada capa será compactada con 20 golpes.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.10: Limpiar completamente y proceder a determinar el peso.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.11. Echar agua en la llave de purga.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.12: Bombear para que ingrese aire dentro de la cámara.**  
Fuente: Propia.





**Fig. 4.13: Presionar el percutor de aire y dar golpes con el martillo de goma.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.14: Leer el porcentaje de aire atrapado en la olla Washington.**  
Fuente: Propia.

## e.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</b>	

<b>ENSAYO: PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS</b> <b>NORMA: ASTM C-1688 - NTP 339.046</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP1-S)</b>	<b>Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 15% , SIN FINOS</b>
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	15.550
Peso unitario teórico (kg)	T	2221.650
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	18.0

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>1863.44</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>16.1</b>

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP2-S)</b>	<b>Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 15% , SIN FINOS</b>
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	15.335
Peso unitario teórico (kg)	T	2204.110
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	17.2

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>1832.86</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>16.8</b>

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP3-S)</b>	<b>Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 15% , SIN FINOS</b>
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	15.500
Peso unitario teórico (kg)	T	2189.010
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	16.4



<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>1856.33</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>15.2</b>

FORMULA:

$$\text{Peso Unitario del Concreto fresco } \left( \frac{kg}{m^3} \right) = \left( \frac{Mc - Mm}{Vm} \right)$$

$$\text{Contenido de vacíos del Concreto fresco } ( \%) = \left( \frac{T - D}{T} \right) \times 100$$

**Tabla 4.5: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP1-S – PP3-S.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

<b>ENSAYO: PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS</b> <b>NORMA: ASTM C-1688 - NTP 339.046</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP4-S)</b>	<b>Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , SIN FINOS</b>
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	17.325
Peso unitario teórico (kg)	T	2327.410
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	8.5

Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)	D	2115.93
Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)	U	9.1

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP5-S)</b>	<b>Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , SIN FINOS</b>
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	17.012
Peso unitario teórico (kg)	T	2305.690
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	8.6

Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)	D	2071.41
Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)	U	10.2

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP6-S)</b>	<b>Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , SIN FINOS</b>
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	17.078
Peso unitario teórico (kg)	T	2287.000
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	11.3



Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)	D	2080.80
Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)	U	9.0

FORMULA:

$$\text{Peso Unitario del Concreto fresco } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left( \frac{Mc - Mm}{Vm} \right)$$

$$\text{Contenido de vacíos del Concreto fresco } ( \% ) = \left( \frac{T - D}{T} \right) \times 100$$

**Tabla 4.6: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP4-S – PP6-S.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS</b> <b>NORMA: ASTM C-1688 - NTP 339.046</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP7-S)</b>	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	17.032
Peso unitario teórico (kg)	T	2327.410
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	12.1

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2074.25</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>10.9</b>

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP8-S)</b>	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	<b>ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3</b>

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	18.163
Peso unitario teórico (kg)	T	2387.680
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	6.5

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2235.14</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>6.4</b>

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP9-S)</b>	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	<b>SIKA: VISCOCRETE 1110</b>	<b>ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3</b>

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	18.005
Peso unitario teórico (kg)	T	2410.180
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	7.1

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2212.66</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>8.2</b>

FORMULA:

$$\text{Peso Unitario del Concreto fresco } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left( \frac{Mc - Mm}{Vm} \right)$$

$$\text{Contenido de vacíos del Concreto fresco } (\%) = \left( \frac{T - D}{T} \right) \times 100$$

**Tabla 4.7: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP7-S – PP9-S.**



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**

**ESCUELA PROFECIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"**

**ENSAYO: PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS**

**NORMA: ASTM C-1688 - NTP 339.046**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP10-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	16.589
Peso unitario teórico (kg)	T	2327.410
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	12.4

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2011.24</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>13.6</b>

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP11-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	16.789
Peso unitario teórico (kg)	T	2305.690
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	10.8

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2039.69</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>11.5</b>

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP12-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	16.750
Peso unitario teórico (kg)	T	2287.000
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	11.8



<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2034.14</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>11.1</b>

FORMULA:

$$\text{Peso Unitario del Concreto fresco } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left( \frac{Mc - Mm}{Vm} \right)$$

$$\text{Contenido de vacíos del Concreto fresco } (\%) = \left( \frac{T - D}{T} \right) \times 100$$

**Tabla 4.8: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP10-S – PP12-S.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS</b> <b>NORMA: ASTM C-1688 - NTP 339.046</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP13-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	16.763
Peso unitario teórico (kg)	T	2325.930
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	13.0

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2035.99</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>12.5</b>

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP14-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	<b>ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3</b>

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	17.956
Peso unitario teórico (kg)	T	2386.100
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	8.2

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2205.69</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>7.6</b>

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP15-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	<b>ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3</b>

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	17.932
Peso unitario teórico (kg)	T	2408.600
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	8.0



<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2202.28</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>8.6</b>

FORMULA:

$$\text{Peso Unitario del Concreto fresco } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left( \frac{M_c - M_m}{V_m} \right)$$

$$\text{Contenido de vacíos del Concreto fresco } ( \% ) = \left( \frac{T - D}{T} \right) \times 100$$

**Tabla 4.9: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP13-E – PP15-E.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</b>	

<b>ENSAYO: PESO UNITARIO Y CONTENIDO DE VACÍOS</b> <b>NORMA: ASTM C-1688 - NTP 339.046</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP16-E)</b>	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	<b>EUCO: NEOPLAST 8500 HP</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	16.874
Peso unitario teórico (kg)	T	2325.930
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	12.5

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>2051.78</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>11.8</b>

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP17-E)</b>	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	<b>EUCO: NEOPLAST 8500 HP</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	16.495
Peso unitario teórico (kg)	T	2304.330
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	13.0

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>1997.87</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>13.3</b>

<b>DISEÑO:</b>	<b>PAVIMENTO PERMEABLE (PP18-E)</b>	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	<b>EUCO: NEOPLAST 8500 HP</b>	

Peso del recipiente (kg)	Mm	2.450
Volumen del recipiente (m3)	Vm	0.007030
Masa del Recipiente + Concreto (kg)	Mc	16.498
Peso unitario teórico (kg)	T	2285.730
Porcentaje de aire atrapado olla washinton (%)	Aire	13.1

<b>Peso Unitario del Concreto fresco (kg/m3)</b>	<b>D</b>	<b>1998.29</b>
<b>Contenido de vacíos del Concreto fresco (%)</b>	<b>U</b>	<b>12.6</b>

FORMULA:

$$\text{Peso Unitario del Concreto fresco } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \left( \frac{Mc - Mm}{Vm} \right)$$

$$\text{Contenido de vacíos del Concreto fresco } (\%) = \left( \frac{T - D}{T} \right) \times 100$$

**Tabla 4.10: Cálculo del Peso unitario y Contenido de vacíos PP16-E – PP18-E.**

#### 4.1.5 ELABORACIÓN Y CURADO DE ESPECIMENES DE CONCRETO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-31 y NTP 339.033

##### a.- Objetivo

- Describir la metodología para la elaboración y curado en la obra de especímenes utilizados para determinar la resistencia a compresión y flexión de mezclas de concreto.
- Elaboración y curado de especímenes, empleando moldes cilíndricos de 10 x 20 cm y moldes prismáticos de 15 x 15 x 60 cm, para determinar la resistencia a compresión y flexión de mezclas de concreto.

##### b.- Equipos y herramientas

- Moldes cilíndricos de 10 x 20 cm, de material plástico o acero, que sea impermeable.
- Moldes prismáticos de 15 x 15 x 60 cm, de material de acero que sea impermeable
- Carretilla tipo bugui o material no absorbente.
- Pala o Cucharón, de tamaño apropiado y forma adecuada para obtener la cantidad suficiente y representativa de concreto.
- Barra Compactadora: Barra cilíndrica de acero liso con punta semiesférica, de 16 mm. de diámetro (5/8 pulgada) y aproximadamente 600 mm. de longitud.
- Martillo Proctor estándar: Dispositivo utilizado para compactar una muestra de concreto permeable que cumpla con el método de prueba D698.
- Mazo: Un mazo (con cabeza de caucho) que tenga una masa de  $600 \pm 200$  g.
- Enrasador metálico

- Flexómetro, la longitud del dispositivo deberá ser por lo menos 300 mm.

#### c.- Procedimiento

- Compactar con el martillo proctor. Cada capa será compactada con 20 golpes (30 cm de altura). Distribuirlos en toda el área. Mantener la misma intensidad en todos los golpes.
- Colocar los moldes en una superficie plana, rígida, horizontal, libre de vibraciones.
- Los moldes y sus bases deben estar limpios y su superficie interior deberá tener algún desmoldante y/o petróleo.
- Todas las herramientas deberán humedecerse previamente.
- En el caso de las probetas de 10 x 20 cm, se colocara el concreto en 2 capas, cada capa dando 25 chuceadas y distribuir en toda el área de la capa en forma de espiral hacia el centro de la sección.
- Después de chucear cada capa, se golpea ligeramente las paredes del molde de 10 a 15 veces con el martillo de goma.
- En las vigas de 15 x 15 x 60 cm, se colocara el concreto en 2capas de 7.5 cm de espesor y se procederá a compactar con el martillo proctor, 30 golpes en forma que cubra toda el área de la viga.
- En ambos casos después de haber compactado, se procederá a enrasar al tope del molde usando la barra compactadora o una plancha de albañilería.
- Las probetas y vigas recientemente moldeadas, deberán ser protegidas y cuidadas las primeras 24 horas (antes de ser desmoldadas)

#### **Curado de probetas y Vigas.**

- Las probetas y vigas deben ser desmoldadas, de preferencia a las 24 horas, pero se permite un margen de 18 a 20 horas después de elaborados.

- Después de ser desmoldadas, se procederá a identificarlas y marcarlas, según el diseño, la fecha y/o algún otro tipo de observación. Se colocara en la poza de curado con una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .



**Fig. 4.15: Moldes cilíndricos de 10 x 20 cm.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.16: Moldes prismáticos de 15 x 15 x 60 cm.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.17: Colocar el concreto en 2 capas, cada capa se chucea 25 veces en forma de espiral.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.18: Se golpea ligeramente las paredes del molde de 10 a 15 veces con el martillo de goma y en la última capa se procede a enrasar.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.19:** En Vigas se colocara el concreto en 2 capas de 7.5 cm de espesor.  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.20:** Se compacta con el martillo proctor, Se da 30 golpes cubriendo toda el área.  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.21:** Después de haber compactado, se procederá a enrasar al tope del molde usando la barra compactadora o una plancha de albañilería.  
Fuente: Propia.



Fig. 4.22: Después de ser desmoldadas, se procederá a identificarlas y marcarlas.  
Fuente: Propia.



Fig. 4.23: Se colocara en la poza de curado con una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .  
Fuente: Propia.

## 4.2 ENSAYOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

El concreto endurecido Es aquel que tras el proceso de hidratación ha pasado del estado plástico al estado rígido. En el caso del concreto permeable se tendrá presente lo siguiente:

- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la tracción indirecta
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al desgaste por abrasión e impacto
- Permeabilidad del concreto permeable

### 4.2.1 Resistencia a la Compresión Simple

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-39 y NTP 339.035

#### a.- Objetivo

- Determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto

#### b.- Equipos y herramientas

- Prensa de ensayo
- Vernier o pie de rey
- Platos de retención con almohadillas de neopreno

#### c.- Procedimiento

- Las probetas serán retiradas de la poza de curado (según el día de ensayo 7 o 28 días).

- Dejar secarlas por lo menos 2 horas antes de ser ensayadas.
- Limpiar la superficie de contacto y proceder a medir los diámetros con el vernier.
- Colocar la probeta en los platos de retención y accionar la palanca de la prensa, para realizar el ensayo de compresión.
- Aplicar carga en forma continua y uniforme cumpliendo las siguientes condiciones: la rotura tiene que alcanzar un tiempo igual o superior a 100 seg. Y la velocidad de aplicación de carga no debe ser superior a  $3,5 \text{ kg/cm}^2/\text{seg}$ .
- Registrar la carga máxima (P) expresada en kg.
- Dividiendo la carga entre el área nos da la resistencia en  $\text{kg/cm}^2$ .



Fig. 4.24: Las probetas serán retiradas de la poza de curado, según el día de ensayo.  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.25:** Se colocara en la poza de curado con una temperatura de  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .  
Fuente: Propia.




**Fig. 4.26:** Colocar la probeta en los platos de retención y accionar la palanca de la prensa.  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.27: Aplicar carga en forma continua y uniforme.**  
Fuente: Propia.

d.- Resultados

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE</b> <b>NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP1-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 15% , SIN FINOS
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	10.00	78.54	5887	75
2	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	10.00	78.54	4390	56
3	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	10.00	78.54	4630	59
4	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	10.00	78.54	4379	56
5	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	10.00	78.54	6770	86
6	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	10.00	78.54	5192	66

PROMEDIO:	66 (kg/cm2)
-----------	-------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
7	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	10.00	78.54	7049	90
8	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	10.00	78.54	6413	82
9	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	10.00	78.54	5839	74
10	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	10.00	78.54	6304	80
11	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	10.00	78.54	7437	95
12	PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	10.00	78.54	8421	107



PROMEDIO:	88 (kg/cm2)
-----------	-------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.11: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP1-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP2-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 15% , SIN FINOS
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	31-8-16	7-9-16	7	10.00	78.54	5774	74
2	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	31-8-16	7-9-16	7	10.00	78.54	5313	68
3	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	15.00	176.71	8808	50
4	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	15.00	176.71	9920	56
5	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	15.00	176.71	11992	68
6	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	8-9-16	7	15.00	176.71	11992	68

**PROMEDIO: 64 (kg/cm<sup>2</sup>)**

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
7	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	31-8-16	28-9-16	28	10.00	78.54	7605	97
8	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	31-8-16	28-9-16	28	10.00	78.54	6895	88
9	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	15.00	176.71	16281	92
10	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	15.00	176.71	15072	85
11	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	15.00	176.71	17954	102
12	PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	1-9-16	29-9-16	28	15.00	176.71	18316	104


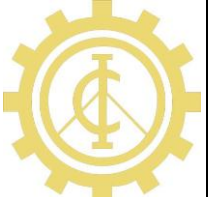
**PROMEDIO: 95 (kg/cm<sup>2</sup>)**



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.12: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP2-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP3-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 15% , SIN FINOS
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	12-9-16	7	10.00	78.54	5774	74
2	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	12-9-16	7	10.00	78.54	5313	68
3	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	12-9-16	7	15.00	176.71	8808	50
4	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	12-9-16	7	15.00	176.71	9920	56
5	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	12-9-16	7	15.00	176.71	11992	68
6	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	12-9-16	7	15.00	176.71	11992	68

<b>PROMEDIO:</b>	<b>64 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	-------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
7	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	3-10-16	28	10.00	78.54	7605	97
8	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	3-10-16	28	10.00	78.54	6895	88
9	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	3-10-16	28	15.00	176.71	16281	92
10	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	3-10-16	28	15.00	176.71	15072	85
11	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	3-10-16	28	15.00	176.71	17954	102
12	PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	5-9-16	3-10-16	28	15.00	176.71	18316	104


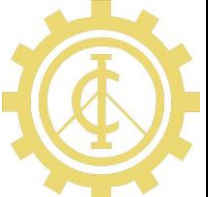
<b>PROMEDIO:</b>	<b>95 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	-------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.13: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP3-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP4-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , SIN FINOS
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	13-9-16	7	15.00	176.71	8745	49
2	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	13-9-16	7	15.00	176.71	6364	36
3	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	13-9-16	7	15.00	176.71	12334	70
4	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	13-9-16	7	15.00	176.71	9241	52
5	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	13-9-16	7	15.00	176.71	11073	63
6	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	13-9-16	7	15.00	176.71	10198	58

<b>PROMEDIO:</b>	<b>55 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	-------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
7	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	4-10-16	28	15.00	176.71	12,764	72
8	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	4-10-16	28	15.00	176.71	11,839	67
9	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	4-10-16	28	15.00	176.71	12,303	70
10	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	4-10-16	28	15.00	176.71	11,782	67
11	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	4-10-16	28	15.00	176.71	13,461	76
12	PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	6-9-16	4-10-16	28	15.00	176.71	9,390	53



<b>PROMEDIO:</b>	<b>67 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	-------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.14: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP4-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP5-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , SIN FINOS
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	16-9-16	7	10.00	78.54	7168	91
2	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	16-9-16	7	10.00	78.54	9719	124
3	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	16-9-16	7	10.00	78.54	7900	101
4	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	16-9-16	7	10.00	78.54	10665	136
5	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	16-9-16	7	10.00	78.54	8328	106
6	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	16-9-16	7	10.00	78.54	9110	116
7	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	16-9-16	7	10.00	78.54	10119	129
8	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	16-9-16	7	10.00	78.54	6991	89

<b>PROMEDIO:</b>	<b>111 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	7-10-16	28	10.00	78.54	11835	151
10	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	7-10-16	28	10.00	78.54	10207	130
11	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	7-10-16	28	10.00	78.54	13346	170
12	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	7-10-16	28	10.00	78.54	11367	145
13	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	7-10-16	28	10.00	78.54	10290	131
14	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	7-10-16	28	10.00	78.54	12101	154
15	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	7-10-16	28	10.00	78.54	12526	159
16	PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	9-9-16	7-10-16	28	10.00	78.54	10450	133


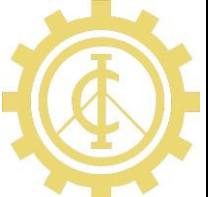
<b>PROMEDIO:</b>	<b>147 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.15: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP5-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP6-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , SIN FINOS
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	19-9-16	7	10.00	78.54	8085	103
2	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	19-9-16	7	10.00	78.54	10145	129
3	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	19-9-16	7	10.00	78.54	7993	102
4	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	19-9-16	7	10.00	78.54	5589	71
5	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	19-9-16	7	10.00	78.54	12289	156
6	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	19-9-16	7	10.00	78.54	8377	107
7	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	19-9-16	7	10.00	78.54	6720	86
8	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	19-9-16	7	10.00	78.54	6139	78

<b>PROMEDIO:</b>	<b>104 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	10-10-16	28	10.00	78.54	10053	128
10	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	10-10-16	28	10.00	78.54	11542	147
11	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	10-10-16	28	10.00	78.54	8190	104
12	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	10-10-16	28	10.00	78.54	7232	92
13	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	10-10-16	28	10.00	78.54	13920	177
14	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	10-10-16	28	10.00	78.54	7467	95
15	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	10-10-16	28	10.00	78.54	7228	92
16	PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	12-9-16	10-10-16	28	10.00	78.54	8881	113


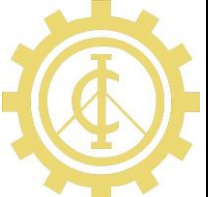
<b>PROMEDIO:</b>	<b>119 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.16: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP6-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP7-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	78.54	12451	159
2	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	78.54	11170	142
3	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	78.54	14326	182
4	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	78.54	14418	184
5	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	78.54	10540	134
6	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	78.54	10279	131
7	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	78.54	11578	147
8	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	78.54	9498	121

<b>PROMEDIO:</b>	<b>150 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	78.54	21406	273
10	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	78.54	22538	287
11	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	78.54	22676	289
12	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	78.54	21957	280
13	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	78.54	23152	295
14	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	78.54	21722	277
15	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	78.54	21542	274
16	PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	78.54	21359	272


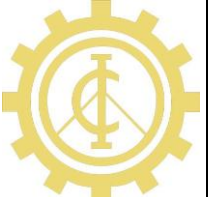
<b>PROMEDIO:</b>	<b>281 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.17: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP7-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE</b> <b>NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP8-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	78.54	34214	436
2	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	78.54	32039	408
3	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	78.54	34638	441
4	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	78.54	36090	460
5	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	78.54	35577	453
6	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	78.54	38336	488
7	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	78.54	34418	438
8	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	78.54	29530	376

<b>PROMEDIO:</b>	<b>437 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	78.54	41305	526
10	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	78.54	42275	538
11	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	78.54	41141	524
12	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	78.54	38675	492
13	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	78.54	38839	495
14	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	78.54	38909	495
15	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	78.54	39481	503
16	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	78.54	40151	511



<b>PROMEDIO:</b>	<b>511 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.18: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP8-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP9-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	78.54	36835	469
2	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	78.54	31117	396
3	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	78.54	35922	457
4	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	78.54	36765	468
5	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	78.54	35087	447
6	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	78.54	28911	368
7	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	78.54	32238	410
8	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	78.54	37673	480

<b>PROMEDIO:</b>	<b>437 (kg/cm2)</b>
------------------	---------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	78.54	40389	514
10	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	78.54	39502	503
11	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	78.54	40134	511
12	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	78.54	40830	520
13	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	78.54	36443	464
14	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	78.54	39984	509
15	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	78.54	41374	527
16	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	78.54	40653	518


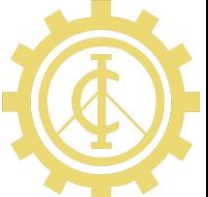
<b>PROMEDIO:</b>	<b>508 (kg/cm2)</b>
------------------	---------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.19: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP9-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE</b> <b>NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP10-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	78.54	11290	144
2	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	78.54	11727	149
3	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	78.54	11122	142
4	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	78.54	14316	182
5	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	78.54	14772	188
6	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	78.54	11702	149
7	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	78.54	10454	133
8	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	78.54	11471	146

<b>PROMEDIO:</b>	<b>154 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	78.54	19644	250
10	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	78.54	18088	230
11	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	78.54	19351	246
12	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	78.54	21075	268
13	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	78.54	21031	268
14	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	78.54	21139	269
15	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	78.54	19874	253
16	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	78.54	21895	279


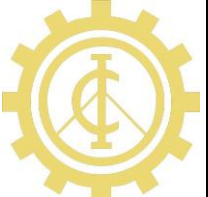
<b>PROMEDIO:</b>	<b>258 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.20: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP10-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE</b> <b>NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP11-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	78.54	11390	145
2	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	78.54	11742	150
3	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	78.54	12347	157
4	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	78.54	12927	165
5	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	78.54	12351	157
6	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	78.54	11697	149
7	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	78.54	13100	167
8	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	78.54	12168	155

<b>PROMEDIO:</b>	<b>156 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	78.54	22718	289
10	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	78.54	22915	292
11	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	78.54	21334	272
12	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	78.54	22478	286
13	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	78.54	23510	299
14	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	78.54	23728	302
15	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	78.54	21970	280
16	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	78.54	21463	273


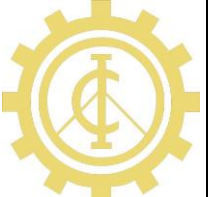
<b>PROMEDIO:</b>	<b>287 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.21: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP11-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP12-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	78.54	16445	209
2	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	78.54	16996	216
3	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	78.54	14130	180
4	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	78.54	14516	185
5	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	78.54	16298	208
6	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	78.54	16122	205
7	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	78.54	14153	180
8	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	78.54	15478	197

<b>PROMEDIO:</b>	<b>198 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	78.54	23314	297
10	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	78.54	23575	300
11	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	78.54	24089	307
12	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	78.54	23370	298
13	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	78.54	23956	305
14	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	78.54	24457	311
15	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	78.54	24344	310
16	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	78.54	24099	307


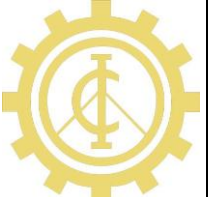
<b>PROMEDIO:</b>	<b>304 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.22: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP12-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP13-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	78.54	11938	152
2	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	78.54	10135	129
3	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	78.54	13974	178
4	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	78.54	13498	172
5	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	78.54	13886	177
6	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	78.54	16890	215
7	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	78.54	17126	218
8	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	78.54	16421	209

<b>PROMEDIO:</b>	<b>181 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	78.54	21800	278
10	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	78.54	22617	288
11	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	78.54	21739	277
12	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	78.54	21683	276
13	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	78.54	22576	287
14	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	78.54	21517	274
15	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	78.54	22583	288
16	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	78.54	23628	301


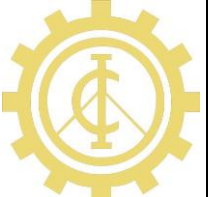
<b>PROMEDIO:</b>	<b>284 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.23: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP13-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE</b> <b>NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035</b>
---

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP14-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	78.54	38205	486
2	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	78.54	39970	509
3	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	78.54	40615	517
4	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	78.54	38889	495
5	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	78.54	40501	516
6	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	78.54	33155	422
7	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	78.54	32126	409
8	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	78.54	38025	484

<b>PROMEDIO:</b>	<b>480 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	78.54	45237	576
10	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	78.54	43832	558
11	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	78.54	45696	582
12	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	78.54	43766	557
13	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	78.54	43870	559
14	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	78.54	44534	567
15	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	78.54	39829	507
16	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	78.54	42994	547


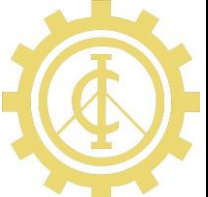
<b>PROMEDIO:</b>	<b>557 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.24: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP14-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP15-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	78.54	31973	407
2	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	78.54	31856	406
3	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	78.54	32393	412
4	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	78.54	34828	443
5	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	78.54	32546	414
6	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	78.54	28499	363
7	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	78.54	34586	440
8	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	78.54	32794	418

<b>PROMEDIO:</b>	<b>413 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	78.54	37438	477
10	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	78.54	39756	506
11	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	78.54	38917	496
12	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	78.54	38478	490
13	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	78.54	38368	489
14	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	78.54	38430	489
15	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	78.54	37947	483
16	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	78.54	38644	492


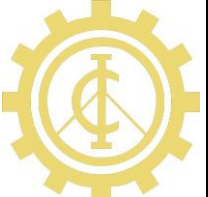
<b>PROMEDIO:</b>	<b>490 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.25: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP15-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP16-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	78.54	11025	140
2	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	78.54	12320	157
3	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	78.54	13847	176
4	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	78.54	13700	174
5	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	78.54	12767	163
6	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	78.54	13027	166
7	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	78.54	11296	144
8	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	78.54	11746	150

<b>PROMEDIO:</b>	<b>159 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	78.54	21825	278
10	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	78.54	22050	281
11	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	78.54	21234	270
12	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	78.54	21186	270
13	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	78.54	21520	274
14	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	78.54	21730	277
15	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	78.54	21790	277
16	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	78.54	21772	277



<b>PROMEDIO:</b>	<b>276 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.26: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP16-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>	

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP17-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	78.54	17598	224
2	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	78.54	17054	217
3	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	78.54	17789	226
4	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	78.54	18100	230
5	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	78.54	16366	208
6	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	78.54	16915	215
7	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	78.54	16854	215
8	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	78.54	17428	222

<b>PROMEDIO:</b>	<b>220 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	78.54	24276	309
10	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	78.54	25334	323
11	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	78.54	24092	307
12	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	78.54	24829	316
13	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	78.54	24154	308
14	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	78.54	24466	312
15	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	78.54	25185	321
16	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	78.54	24027	306


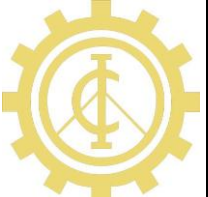
<b>PROMEDIO:</b>	<b>313 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.27: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP17-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE**  
**NORMA: ASTM: C - 39 - NTP 339.035**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP18-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	78.54	16615	212
2	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	78.54	16781	214
3	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	78.54	17847	227
4	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	78.54	18481	235
5	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	78.54	19491	248
6	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	78.54	18841	240
7	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	78.54	17996	229
8	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	78.54	19102	243

<b>PROMEDIO:</b>	<b>231 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESIS. (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	78.54	25671	327
10	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	78.54	25554	325
11	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	78.54	27548	351
12	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	78.54	25463	324
13	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	78.54	26153	333
14	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	78.54	26053	332
15	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	78.54	27869	355
16	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	78.54	25694	327

<b>PROMEDIO:</b>	<b>334 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	--------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA COMPRESION (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA}}{\text{AREA}}$$

Tabla 4.28: Cálculo de la resistencia a la compresión simple PP18-E.

#### 4.2.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

El ensayo está dado por la siguiente norma:

- ASTM C-496

##### a.- Objetivo

- Determinar la resistencia a la tracción indirecta, al aplicar una carga sobre el diámetro a una probeta cilíndrica de concreto.

##### b.- Equipos y herramientas

- Prensa de ensayo
- Vernier o pie de rey
- Platos de retención con almohadillas de neopreno
- Tablillas de apoyo, de madera contrachapada, de  $4 \pm 1$  mm. de espesor y de longitud igual a mayor a la de la probeta.

##### c.- Procedimiento

- Las probetas serán retiradas de la poza de curado (según el día de ensayo 7 o 28 días).
- Registrar el diámetro (d) y la longitud (l) de la probeta.
- Colocar una tablilla de apoyo centrada sobre el eje de la placa inferior de la máquina de ensayo.
- Colocar la probeta sobre la tablilla de apoyo y alinear de modo que queden verticalmente y centrada sobre la tablilla.
- Colocar una segunda tablilla de apoyo centrada sobre la línea de contacto superior de la probeta.

- Aplicar aproximadamente un 5% de la carga de rotura prevista, verificando que la probeta se mantiene centrada y alineada.
- Registrar la carga máxima (P) expresada en kg.





Fig. 4.28: Colocar una tablilla centrada, apoyada en el eje de la placa inferior y otra en la parte superior.  
Fuente: Propia.



Fig. 4.29: Aplicar aproximadamente un 5% de la carga de rotura prevista, verificando que la probeta se mantiene centrada y alineada.  
Fuente: Propia.

## d.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b>
<b>NORMA: ASTM C - 496</b>

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP7-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	20.00	78.54	12879	41
2	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11220	36
3	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	20.00	78.54	8872	28
4	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	20.00	78.54	9754	31
5	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11443	36
6	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11292	36
7	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11278	36
8	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11327	36

<b>PROMEDIO:</b>	<b>35 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	-------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11096	35
10	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12067	38
11	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12884	41
12	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11735	37
13	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11572	37
14	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11499	37
15	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11701	37
16	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11254	36



<b>PROMEDIO:</b>	<b>37 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	-------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

**Tabla 4.29: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP7-S.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA**  
**NORMA: ASTM C - 496**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP8-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m <sup>3</sup>

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	20.00	78.54	13155	42
2	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	20.00	78.54	12467	40
3	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	20.00	78.54	16328	52
4	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	20.00	78.54	13800	44
5	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	20.00	78.54	14318	46
6	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	20.00	78.54	13530	43
7	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	20.00	78.54	14142	45
8	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11865	38

<b>PROMEDIO:</b>	<b>44 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	-------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14262	45
10	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	20.00	78.54	13232	42
11	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	20.00	78.54	15833	50
12	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	20.00	78.54	16080	51
13	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	20.00	78.54	15818	50
14	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14322	46
15	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	20.00	78.54	13455	43
16	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	10.00	20.00	78.54	15389	49



<b>PROMEDIO:</b>	<b>47 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	-------------------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

**Tabla 4.30: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP8-S.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA**  
**NORMA: ASTM C - 496**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP9-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	20.00	78.54	15032	48
2	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	20.00	78.54	14634	47
3	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	20.00	78.54	15154	48
4	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	20.00	78.54	13515	43
5	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	20.00	78.54	15583	50
6	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	20.00	78.54	14449	46
7	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	20.00	78.54	13117	42
8	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	10.00	20.00	78.54	12452	40

<b>PROMEDIO:</b>	<b>45 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	20.00	78.54	16307	52
10	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14785	47
11	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	20.00	78.54	17020	54
12	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	20.00	78.54	16890	54
13	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	20.00	78.54	16329	52
14	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	20.00	78.54	15264	49
15	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	20.00	78.54	13753	44
16	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	10.00	20.00	78.54	18116	58



<b>PROMEDIO:</b>	<b>51 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

**Tabla 4.31: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP9-S.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b> <b>NORMA: ASTM C - 496</b>
--

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP10-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	20.00	78.54	9481	30
2	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	20.00	78.54	8953	28
3	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11110	35
4	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	20.00	78.54	10178	32
5	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	20.00	78.54	10834	34
6	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	20.00	78.54	9616	31
7	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11754	37
8	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11125	35

<b>PROMEDIO:</b>	<b>33 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	20.00	78.54	10923	35
10	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	20.00	78.54	10793	34
11	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12717	40
12	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	20.00	78.54	13451	43
13	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14031	45
14	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14628	47
15	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	20.00	78.54	13307	42
16	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12051	38



<b>PROMEDIO:</b>	<b>41 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.32: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP10-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b> <b>NORMA: ASTM C - 496</b>
--

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP11-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11903	38
2	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	20.00	78.54	10820	34
3	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	20.00	78.54	10303	33
4	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	20.00	78.54	8687	28
5	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	20.00	78.54	9704	31
6	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	20.00	78.54	11065	35
7	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	20.00	78.54	10327	33
8	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	10.00	20.00	78.54	8911	28

<b>PROMEDIO:</b>	<b>33 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11157	36
10	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11805	38
11	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12070	38
12	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11526	37
13	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12352	39
14	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12800	41
15	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11753	37
16	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11739	37



<b>PROMEDIO:</b>	<b>38 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.33: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP11-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b> <b>NORMA: ASTM C - 496</b>
--

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP12-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	20.00	78.54	9636	31
2	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12010	38
3	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11484	37
4	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11406	36
5	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	20.00	78.54	10739	34
6	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12325	39
7	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11182	36
8	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	10.00	20.00	78.54	9715	31

<b>PROMEDIO:</b>	<b>35 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	20.00	78.54	10518	33
10	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11078	35
11	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	20.00	78.54	10770	34
12	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11389	36
13	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12231	39
14	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12037	38
15	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12269	39
16	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12558	40



<b>PROMEDIO:</b>	<b>37 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.34: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP12-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b> <b>NORMA: ASTM C - 496</b>
--

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP13-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	20.00	78.54	8642	28
2	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	20.00	78.54	9231	29
3	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	20.00	78.54	10412	33
4	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	20.00	78.54	13315	42
5	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	20.00	78.54	10030	32
6	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	20.00	78.54	9204	29
7	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	20.00	78.54	9964	32
8	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	10.00	20.00	78.54	8514	27

<b>PROMEDIO:</b>	<b>32 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14808	47
10	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12294	39
11	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11725	37
12	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	20.00	78.54	10949	35
13	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12017	38
14	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12326	39
15	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	20.00	78.54	11714	37
16	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	10.00	20.00	78.54	13285	42



<b>PROMEDIO:</b>	<b>39 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.35: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP13-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b> <b>NORMA: ASTM C - 496</b>
--

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP14-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	20.00	78.54	14069	45
2	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	20.00	78.54	14122	45
3	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12808	41
4	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	20.00	78.54	15873	51
5	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	20.00	78.54	14554	46
6	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	20.00	78.54	14219	45
7	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12852	41
8	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	10.00	20.00	78.54	14077	45

<b>PROMEDIO:</b>	<b>45 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14209	45
10	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	20.00	78.54	12847	41
11	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14053	45
12	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	20.00	78.54	14950	48
13	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	20.00	78.54	15913	51
14	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	20.00	78.54	16490	52
15	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	20.00	78.54	16405	52
16	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	10.00	20.00	78.54	16193	52



<b>PROMEDIO:</b>	<b>48 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.36: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP14-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA**  
**NORMA: ASTM C - 496**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP15-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	20.00	78.54	13809	44
2	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12952	41
3	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	20.00	78.54	13101	42
4	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12221	39
5	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	20.00	78.54	13081	42
6	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12878	41
7	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	20.00	78.54	13090	42
8	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11982	38

<b>PROMEDIO:</b>	<b>41 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15829	50
10	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	20.00	78.54	14049	45
11	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	20.00	78.54	14486	46
12	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	20.00	78.54	14951	48
13	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15139	48
14	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15489	49
15	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15016	48
16	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15802	50



<b>PROMEDIO:</b>	<b>48 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCION INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.37: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP15-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b> <b>NORMA: ASTM C - 496</b>
--

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP16-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	20.00	78.54	9563	30
2	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11939	38
3	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	20.00	78.54	7552	24
4	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	20.00	78.54	6866	22
5	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	20.00	78.54	9859	31
6	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	20.00	78.54	8340	27
7	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	20.00	78.54	7475	24
8	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12108	39

<b>PROMEDIO:</b>	<b>29 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	20.00	78.54	10206	32
10	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	20.00	78.54	10131	32
11	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	20.00	78.54	9341	30
12	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	20.00	78.54	9675	31
13	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	20.00	78.54	10101	32
14	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	20.00	78.54	10877	35
15	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	20.00	78.54	9883	31
16	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	10.00	20.00	78.54	10621	34



<b>PROMEDIO:</b>	<b>32 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.38: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP16-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b> <b>NORMA: ASTM C - 496</b>
--

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP17-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	20.00	78.54	9859	31
2	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	20.00	78.54	10233	33
3	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	20.00	78.54	10726	34
4	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	20.00	78.54	10554	34
5	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11287	36
6	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11751	37
7	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12017	38
8	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11842	38

<b>PROMEDIO:</b>	<b>35 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	20.00	78.54	11423	36
10	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	20.00	78.54	13201	42
11	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	20.00	78.54	11551	37
12	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	20.00	78.54	12650	40
13	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	20.00	78.54	13105	42
14	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	20.00	78.54	13865	44
15	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	20.00	78.54	13743	44
16	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	10.00	20.00	78.54	12019	38



<b>PROMEDIO:</b>	<b>40 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.39: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP17-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA</b> <b>NORMA: ASTM C - 496</b>
--

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP18-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12427	40
2	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	20.00	78.54	13339	42
3	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11282	36
4	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12663	40
5	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	20.00	78.54	10603	34
6	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	20.00	78.54	11476	37
7	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12816	41
8	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	10.00	20.00	78.54	12987	41

<b>PROMEDIO:</b>	<b>39 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIAM. (cm)	ALT. (cm)	AREA cm <sup>2</sup>	CARGA (kgf)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm <sup>2</sup> )
9	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	20.00	78.54	14697	47
10	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15787	50
11	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15845	50
12	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15049	48
13	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15764	50
14	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15586	50
15	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15467	49
16	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	10.00	20.00	78.54	15637	50

<b>PROMEDIO:</b>	<b>49 (kg/cm2)</b>
------------------	--------------------



FORMULA:

$$\text{RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{CARGA}}{\pi \times \text{ALTURA} \times \text{DIAMETRO}}$$

Tabla 4.40: Cálculo de la resistencia a la Tracción Indirecta PP18-E.

### 4.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-78

#### a.- Objetivo

- Determinar la resistencia a la flexión del concreto por medio de vigas prismáticas de concreto, simplemente apoyadas. Ensayo que se realiza comúnmente para llevar el control de calidad en el concreto para pavimentos rígidos.

#### b.- Equipos y herramientas

- Prensa de ensayo
- Vernier o pie de rey
- Dispositivo de tensión por flexión con piezas de apoyo de la probeta y piezas para aplicar la carga.

#### c.- Procedimiento

- Las Vigas serán retiradas de la poza de curado (según el día de ensayo 7 o 28 días).
- Dejar secarlas por lo menos 2 horas antes de ser ensayadas.
- Marcado y medición de las probetas.
- La distancia entre las líneas de apoyo y los extremos de la viga debe ser igual o mayor a 2,5 cm.
- Con líneas rectas, finas e indelebles se marcan las secciones de apoyo y de carga, que servirán para colocar y alinear la probeta en la máquina de ensayo.

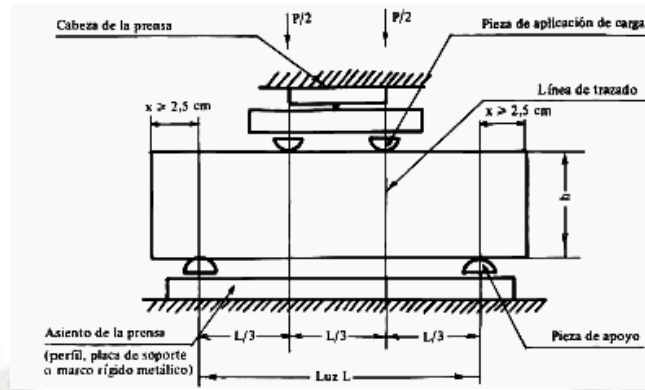


Fig. 4.30: Máquina de ensayo, para vigas a flexión.

- Se limpian las superficies de contacto de la probeta y máquina de ensayo y se coloca la viga alineada y centrada dejando la cara de llenado en posición vertical.
- Se aplica hasta un 5% de la carga prevista de rotura verificando que los contactos cumplen las tolerancias.
- Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a 300 seg.
- Registrar la carga máxima (P) expresada en kgs.



Fig. 4.31: Las Vigas serán retiradas de la poza de curado.  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.32:** La distancia entre las líneas de apoyo y los extremos de la viga debe ser igual o mayor a 2,5 cm.  
Fuente: Propia.




**Fig. 4.33:** Aplicar un 5% de la carga prevista de rotura verificando que los contactos cumplen las tolerancias.  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.34:** Alcanzar la rotura en un tiempo igual o superior a 300 seg.  
Fuente: Propia.

d.- Resultados

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

<b>ENSAYO: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO</b>
<b>NORMA: ASTM: C - 78</b>

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP7-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	46.00	15.02	15.00	2540	34.6
2	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	20-9-16	7	46.00	15.00	15.01	2429	33.1

<b>PROMEDIO:</b>	<b>33.8 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	46.00	15.00	15.04	3253	44.1
4	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	46.00	15.01	15.01	3196	43.5

<b>PROMEDIO:</b>	<b>43.8 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

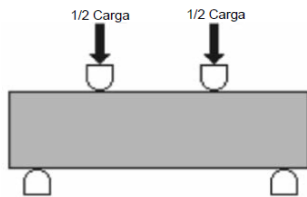
<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP8-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	46.00	15.01	15.00	3130	42.6
2	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	27-9-16	7	46.00	15.02	15.02	3048	41.4

<b>PROMEDIO:</b>	<b>42.0 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	46.00	15.00	15.02	4241	57.6
4	PP8- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	46.00	15.02	15.02	4302	58.4

<b>PROMEDIO:</b>	<b>58.0 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------




FORMULA:

$$\text{MODULO DE ROTURA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA} \times \text{LONG.DE SEPARACION EN APOYOS}}{\text{ANCHO} \times \text{ALTO}^2}$$

ASTM C78 Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga]

**Tabla 4.41: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP7-S – PP8-S.**

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO  
NORMA: ASTM: C - 78**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP9-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m <sup>3</sup>

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	46.00	15.00	15.00	3347	45.6
2	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	28-9-16	7	46.00	15.02	15.01	3210	43.6

<b>PROMEDIO:</b>	<b>44.6 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	46.00	15.00	15.01	4185	57.0
4	PP9- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	46.00	15.01	15.03	4172	56.6

<b>PROMEDIO:</b>	<b>56.8 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

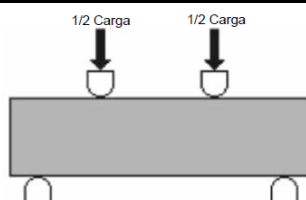
<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP10-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	46.00	15.03	15.01	2283	31.0
2	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	29-9-16	7	46.00	15.00	15.02	2250	30.6

<b>PROMEDIO:</b>	<b>30.8 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS (cm)	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	46.00	15.01	15.02	3043	41.3
4	PP10- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	46.00	15.02	15.00	3186	43.4

<b>PROMEDIO:</b>	<b>42.4 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------




ASTM C78. Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga.

FORMULA:

$$\text{MODULO DE ROTURA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA} \times \text{LONG.DE SEPARACION EN APOYOS}}{\text{ANCHO} \times \text{ALTO}^2}$$

**Tabla 4.42: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP9-S – PP10-S.**

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO  
NORMA: ASTM: C - 78**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP11-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	46.00	15.00	15.00	2750	37.5
2	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	30-9-16	7	46.00	15.02	15.00	2692	36.6

<b>PROMEDIO:</b>	<b>37.1 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	46.00	15.00	15.01	3266	44.5
4	PP11- SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	46.00	15.00	15.02	3286	44.7

<b>PROMEDIO:</b>	<b>44.6 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

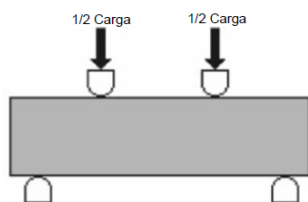
<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP12-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	46.00	15.03	15.01	2863	38.9
2	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	5-10-16	7	46.00	15.00	15.02	2863	38.9

<b>PROMEDIO:</b>	<b>38.9 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	46.00	15.01	15.02	3477	47.2
4	PP12- SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	46.00	15.02	15.00	3428	46.7

<b>PROMEDIO:</b>	<b>46.9 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------





**ASTM C78.** Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga]

FORMULA:

$$\text{MODULO DE ROTURA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA} \times \text{LONG.DE SEPARACION EN APOYOS}}{\text{ANCHO} \times \text{ALTO}^2}$$

**Tabla 4.43: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP11-S – PP12-S.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO  
NORMA: ASTM: C - 78**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP13-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP13- EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	46.00	15.02	15.02	2495	33.9
2	PP13- EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	6-10-16	7	46.00	15.03	15.01	2553	34.7

<b>PROMEDIO:</b>	<b>34.3 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP13- EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	46.00	15.00	15.02	3158	42.9
4	PP13- EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	46.00	15.03	15.01	3219	43.7

<b>PROMEDIO:</b>	<b>43.3 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

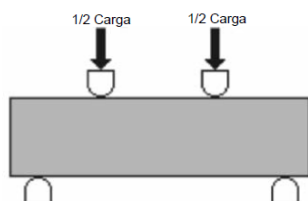
<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP14-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	<b>ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m<sup>3</sup></b>

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP14- EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	46.00	15.03	15.03	3212	43.5
2	PP14- EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	7-10-16	7	46.00	15.00	15.02	3222	43.8

<b>PROMEDIO:</b>	<b>43.7 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP14- EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	46.00	15.02	15.01	4426	60.2
4	PP14- EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	46.00	15.03	15.00	4408	60.0

<b>PROMEDIO:</b>	<b>60.1 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------



**ASTM C78.** Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga.

FORMULA:

$$\text{MODULO DE ROTURA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA} \times \text{LONG.DE SEPARACION EN APOYOS}}{\text{ANCHO} \times \text{ALTO}^2}$$

**Tabla 4.44: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP13-E – PP14-E.**



## UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

#### ENSAYO: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO NORMA: ASTM: C - 78

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP15-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m <sup>3</sup>

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP15- EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	46.00	15.01	15.00	3042	41.4
2	PP15- EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	11-10-16	7	46.00	15.02	15.01	3091	42.0

<b>PROMEDIO:</b>	<b>41.7 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP15- EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	46.00	15.03	15.03	4115	55.8
4	PP15- EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	46.00	15.01	15.02	4140	56.2

<b>PROMEDIO:</b>	<b>56.0 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

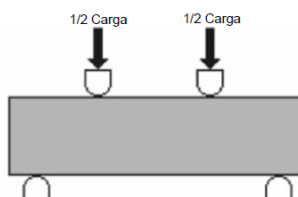
<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP16-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP16- EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	46.00	15.04	15.02	2431	33.0
2	PP16- EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	14-10-16	7	46.00	15.03	15.02	2410	32.7

<b>PROMEDIO:</b>	<b>32.8 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP16- EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	46.00	15.02	15.00	3163	43.1
4	PP16- EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	46.00	15.02	15.02	3188	43.3

<b>PROMEDIO:</b>	<b>43.2 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------




FORMULA:

$$\text{MODULO DE ROTURA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA} \times \text{LONG. DE SEPARACION EN APOYOS}}{\text{ANCHO} \times \text{ALTO}^2}$$

ASTM C78. Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga.]

Tabla 4.45: Cálculo de la resistencia a la flexión del concreto PP15-E – PP16-E.

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"</b>

**ENSAYO: RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO  
NORMA: ASTM: C - 78**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP17-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP17- EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	46.00	15.03	15.00	2645	36.0
2	PP17- EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	17-10-16	7	46.00	15.02	15.02	2687	36.5

<b>PROMEDIO:</b>	<b>36.2 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP17- EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	46.00	15.04	15.03	3348	45.3
4	PP17- EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	46.00	15.02	15.01	3409	46.3

<b>PROMEDIO:</b>	<b>45.8 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

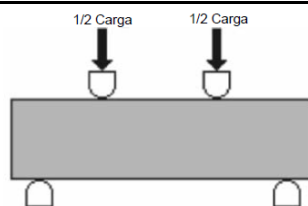
<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP18-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP18- EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	46.00	15.02	15.01	2705	36.8
2	PP18- EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	18-10-16	7	46.00	15.00	15.01	2722	37.1

<b>PROMEDIO:</b>	<b>36.9 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONGITUD DE SEPARACION EN APOYOS	ANCHO (cm)	ALTO (cm)	CARGA (kgf)	MODULO DE ROTURA (kg/cm <sup>2</sup> )
3	PP18- EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	46.00	15.04	15.00	3566	48.5
4	PP18- EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	46.00	15.03	15.01	3619	49.2

<b>PROMEDIO:</b>	<b>48.8 (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
------------------	---------------------------------



FORMULA:

$$\text{MODULO DE ROTURA (kg/cm}^2\text{)} = \frac{\text{CARGA} \times \text{LONG.DE SEPARACION EN APOYOS}}{\text{ANCHO} \times \text{ALTO}^2}$$

ASTM C78. Cargas en los puntos tercios. La mitad de la carga se aplica en cada tercio de la luz. El módulo de rotura es más bajo que en el caso de la carga en el punto medio. La tensión máxima en el tercio medio de la viga.]

**Tabla 4.46: Cálculo de la resistencia a la a la flexión del concreto PP17-E – PP18-E.**

#### 4.2.4 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ASTM C-132 Y NTP 400.021

##### a.- Objetivo

- Se refiere al procedimiento que se debe seguir para realizar el ensayo de desgaste de del material por medio de la máquina de Los Ángeles.
- El método se emplea para determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales o triturados y la durabilidad del concreto permeable que estará expuesta al desgaste por cargas de tránsito.

##### b.- Equipos y herramientas

- Máquina de Los Ángeles: Consiste en un cilindro hueco, de acero, con una longitud interior de  $508 \pm \text{mm}$  ( $20 \pm 0.2''$ ) y un diámetro, también interior, de  $711 \pm 5 \text{ mm}$  ( $28 \pm 0.2''$ ).
- Balanza, con aproximación al 0.5 g.
- Horno (Temperatura  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ).
- Tamiz # 12.
- Bandejas.
- Carga abrasiva, consiste en esferas de acero de diámetros entre los rangos de  $46.38 \text{ mm}$  ( $1 \frac{13}{16}''$ ) y  $47.63 \text{ mm}$  ( $1 \frac{7}{8}''$ ), con un peso que va desde los 390 g. y los 445 g.

##### c.- Procedimiento

- Para este ensayo se procederá a cortar las probetas de 10 x20 cm. En partes iguales (10 x 10 cm.)

- Lavar bien las muestras y dejarlas secar en el horno por 24 horas a una temperatura de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$ .
- Se procederá a pesar y medir cada mitad, para luego ser introducidas en la máquina de los ángeles.
- Ejecución del ensayo. La muestra y la carga abrasiva correspondiente, se colocan en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante.
- Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz # 12.
- Se procederá a pesar el material retino por el tamiz # 12.



Fig. 4.35: Cortar las probetas de 10 x20 cm. En partes iguales (10 x 10 cm.).  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.36:** Lavar bien las muestras y dejarlas secar en el horno por 24 horas.  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.37:** Máquina de Los Ángeles.  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.38:** Se coloca la muestra y la carga abrasiva, en la máquina de Los Ángeles.  
Fuente: Propia.





**Fig. 4.39: Se descarga el material del cilindro.**  
Fuente: Propia.



**Fig. 4.40: Se procederá a pesar el material retino por el tamiz # 12.**  
Fuente: Propia.

## d.- Resultados

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES**  
**NORMA: ASTM: C - 132 - NTP 400.021**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP7-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	DESGASTE (%)
1	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	3335	2487	25.43

**DESGASTE: 25.43 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP8-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	<b>ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3</b>

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	3800	3341	12.08

**DESGASTE: 12.08 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP9-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	<b>ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3</b>

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	3885	3452	11.15

**DESGASTE: 11.15 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP10-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	3355	2695	19.67



**DESGASTE: 19.67 %**



FORMULA:

$$\text{DESGASTE (\%)} = \left( \frac{\text{PESO INICIAL} - \text{PESO FINAL}}{\text{PESO INICIAL}} \right) \times 100$$

**Tabla 4.47: Cálculo de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto PP7-S – PP10-S.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES**  
**NORMA: ASTM: C - 132 - NTP 400.021**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP11-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	DESGASTE (%)
1	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	3276	2636	19.54

**DESGASTE: 19.54 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP12-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	3647	3041	16.60

**DESGASTE: 16.60 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP13-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	3526	2740	22.29

**DESGASTE: 22.29 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP14-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	4070	3608	11.34



**DESGASTE: 11.34 %**



FORMULA:

$$\text{DESGASTE (\%)} = \left( \frac{\text{PESO INICIAL} - \text{PESO FINAL}}{\text{PESO INICIAL}} \right) \times 100$$

**Tabla 4.48: Cálculo de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto PP11-S – PP14-E.**

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES**  
**NORMA: ASTM: C - 132 - NTP 400.021**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP15-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (gr)	PESO FINAL (gr)	DESGASTE (%)
1	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	3935	3295	16.25

**DESGASTE: 16.25 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP16-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	3455	2563	25.82

**DESGASTE: 25.82 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP17-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	3687	2925	20.68

**DESGASTE: 20.68 %**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP18-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	PESO INICIAL (kg)	PESO FINAL (kg)	DESGASTE (%)
1	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	3474	2689	22.61

**DESGASTE: 22.61 %**



FORMULA:

$$\text{DESGASTE (\%)} = \left( \frac{\text{PESO INICIAL} - \text{PESO FINAL}}{\text{PESO INICIAL}} \right) \times 100$$

**Tabla 4.49: Cálculo de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto PP15-E – PP18-E.**

#### 4.2.5 PERMEABILIDAD

El ensayo está dado por las siguientes normas:

- ACI 522R-10

##### a.- Objetivo

- Verificar la permeabilidad de carga variable tomando como base lo descrito en el ACI 522R-10.
- El coeficiente de permeabilidad del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de (2 a 5.4 mm/s).

##### b.- Equipos y herramientas

- Permeámetro de carga variable:

Se compone de un tubo largo de PVC y/o acrílico de 30 cm, con un diámetro interior de 9.5 cm, este tubo será unido por medio de abrazaderas en la parte inferior, a la probeta de ensayo y está a la base del permeámetro de 10 cm de alto por 9.5 cm de diámetro.

Además, esta base tendrá una reducción de 1 pulgada con una válvula de PVC tipo bola de 1 pulgada, unida a un codo y tubo de drenaje de 1 pulgada

- Reloj y/o cronometro.

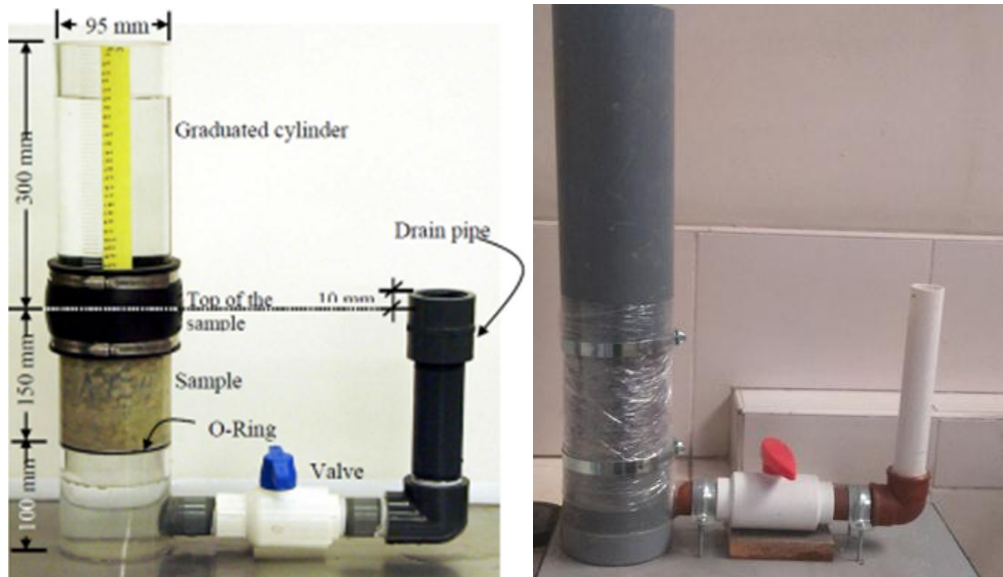


Fig. 4.41: Permeámetro de carga variable.

#### c.- Procedimiento

- Para este ensayo se procederá a cortar las probetas de 10 x 20 cm, para así obtener probetas de 10 cm de diámetro x 15 cm de alto.
- Prepara la muestra a ser ensayada, envolverla en una membrana de látex o con cualquier material que no permita que fugue el agua de drenaje.
- Luego se procede a colocar la muestra en el permeámetro de carga variable, uniendo la muestra al equipo por medio de abrazaderas.
- Cuando la muestra este saturada y el flujo establecido, se toma la altura de columna de agua  $h_1$  (para nuestro caso será 30 cm).
- Se abre la válvula de PVC tipo bola, para permitir la descarga y se inicia el conteo  $t_1$ .
- Una vez que el agua deja de drenar por el tubo de drenaje se toma el tiempo final  $t_2$ .
- Calcular el coeficiente de permeabilidad del concreto permeable que normalmente se encuentra en el rango de (2 a 5.4 mm/s).



**Fig. 4.42: Cortar las probetas de 10 cm de diámetro x 15 cm de alto.**  
**Fuente: Propia.**



**Fig. 4.43: Prepara la muestra a ser ensayada.**  
**Fuente: Propia.**



**Fig. 4.44: Se procede a colocar la muestra en el permeámetro de carga variable.**  
**Fuente: Propia.**



**Fig. 4.45: Saturar la muestra y establecer el flujo establecido a los 30 cm de columna de agua.**  
**Fuente: Propia.**



Fig. 4.46: Tomar la altura de columna de agua  $h_1$ .  
Fuente: Propia.

d.- Resultados



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### ENSAYO: PERMEABILIDAD NORMA: ACI 522R-10

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP7-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) - h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	187.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.281	2.81
2	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	180.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.292	2.92
3	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	192.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.274	2.74
4	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	168.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.313	3.13
5	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	194.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.271	2.71
6	PP7- SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	13-9-16	11-10-16	28	182.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.289	2.89


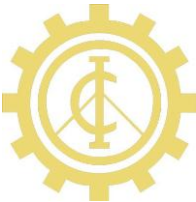
<b>PROMEDIO:</b>	<b>2.87 mm/s</b>
------------------	------------------



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.50: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP7-S.

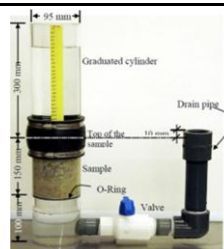
 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: PERMEABILIDAD  
NORMA: ACI 522R-10**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP8-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) -h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	732.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.072	0.72
2	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	757.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.069	0.69
3	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	780.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.067	0.67
4	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	704.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.075	0.75
5	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	828.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.063	0.63
6	PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	20-9-16	18-10-16	28	833.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.063	0.63



<b>PROMEDIO:</b>	<b>0.68 mm/s</b>
------------------	------------------



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.51: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP8-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: PERMEABILIDAD  
NORMA: ACI 522R-10**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP9-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) - h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	620.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.085	0.85
2	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	653.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.080	0.80
3	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	634.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.083	0.83
4	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	600.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.088	0.88
5	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	660.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.080	0.80
6	PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	21-9-16	19-10-16	28	671.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.078	0.78

<b>PROMEDIO:</b>	<b>0.82 mm/s</b>
------------------	------------------



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.52: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP9-S.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### ENSAYO: PERMEABILIDAD

NORMA: ACI 522R-10

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP10-S)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) - h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	107.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.491	4.91
2	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	121.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.434	4.34
3	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	115.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.457	4.57
4	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	132.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.398	3.98
5	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	112.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.469	4.69
6	PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	22-9-16	20-10-16	28	115.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.457	4.57

PROMEDIO: 4.51 mm/s



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.53: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP10-S.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### ENSAYO: PERMEABILIDAD NORMA: ACI 522R-10

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP11-S)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) - h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	216.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.243	2.43
2	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	205.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.256	2.56
3	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	202.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.260	2.60
4	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	209.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.251	2.51
5	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	212.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.248	2.48
6	PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	23-9-16	21-10-16	28	210.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.250	2.50


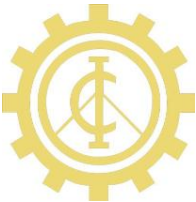
<b>PROMEDIO:</b>	<b>2.52 mm/s</b>
------------------	------------------



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.54: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP11-S.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: PERMEABILIDAD**  
**NORMA: ACI 522R-10**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP12-S)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	SIKA: VISCOCRETE 1110	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) - h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	287.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.183	1.83
2	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	237.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.222	2.22
3	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	257.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.205	2.05
4	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	269.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.195	1.95
5	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	245.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.215	2.15
6	PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	28-9-16	26-10-16	28	238.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.221	2.21

<b>PROMEDIO:</b>	<b>2.07 mm/s</b>
------------------	------------------



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

**Tabla 4.55: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP12-S.**



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”

### ENSAYO: PERMEABILIDAD

NORMA: ACI 522R-10

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP13-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - A	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) -h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	134.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.392	3.92
2	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	144.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.365	3.65
3	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	128.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.411	4.11
4	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	135.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.389	3.89
5	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	130.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.404	4.04
6	PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	29-9-16	27-10-16	28	136.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.386	3.86

**PROMEDIO:** 3.91 mm/s



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.56: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP13-E.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### ENSAYO: PERMEABILIDAD NORMA: ACI 522R-10

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP14-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) - h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	759.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.069	0.69
2	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	762.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.069	0.69
3	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	744.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.071	0.71
4	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	790.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.067	0.67
5	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	720.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.073	0.73
6	PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	30-9-16	28-10-16	28	715.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.074	0.74

PROMEDIO: 0.70 mm/s



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.57: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP14-E.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

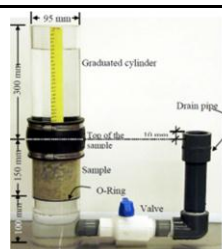
TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### ENSAYO: PERMEABILIDAD NORMA: ACI 522R-10

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP15-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 20 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	ADICION DE CEMENTO HASTA LOS 450 kg/m3

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tuberia de carga (cm)	Area de la Tuberia de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) -h1	Altura de salida de tuberia a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	652.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.081	0.81
2	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	632.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.083	0.83
3	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	644.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.082	0.82
4	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	633.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.083	0.83
5	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	660.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.080	0.80
6	PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	4-10-16	1-11-16	28	677.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.078	0.78

PROMEDIO: 0.81 mm/s



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.58: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP15-E.



# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

### ENSAYO: PERMEABILIDAD

NORMA: ACI 522R-10

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP16-E)	Relacion: a/c = 0.30, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) -h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	223.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.236	2.36
2	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	235.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.224	2.24
3	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	242.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.217	2.17
4	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	228.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.231	2.31
5	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	230.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.229	2.29
6	PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7-10-16	4-11-16	28	227.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.232	2.32


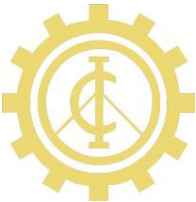
**PROMEDIO:** 2.28 mm/s



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

Tabla 4.59: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP16-E.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: PERMEABILIDAD  
NORMA: ACI 522R-10**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP17-E)	Relacion: a/c = 0.35, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tubería de carga (cm)	Area de la Tubería de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) - h1	Altura de salida de tubería a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	122.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.431	4.31
2	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	119.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.442	4.42
3	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	123.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.427	4.27
4	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	125.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.420	4.20
5	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	120.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.438	4.38
6	PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	10-10-16	7-11-16	28	122.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.431	4.31


**PROMEDIO: 4.32 mm/s**



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

**Tabla 4.60: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP17-E.**

	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	<b>TESIS: “DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”</b>

**ENSAYO: PERMEABILIDAD  
NORMA: ACI 522R-10**

<b>DISEÑO:</b>	PAVIMENTO PERMEABLE (PP18-E)	Relacion: a/c = 0.40, Porcentaje de Vacios 10% , CON FINOS 10 %
<b>ADITIVO:</b>	EUCO: NEOPLAST 8500 HP	

Nº	DISEÑO	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	TIEMPO (seg) - t	Longitud Muestra (cm) - L	Diametro Muestra (cm)	Diametro Interior de la Tuberia de carga (cm)	Area de la Tuberia de Carga (cm <sup>2</sup> ) - a	Area de la Muestra (cm <sup>2</sup> ) - A	Altura de agua desde la parte superior de la muestra (cm) - h1	Altura de salida de tuberia a la parte superior de la muestra (cm) - h2	Coefficiente de Permeabilidad (cm/s)	Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)
1	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	133.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.395	3.95
2	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	138.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.381	3.81
3	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	145.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.362	3.62
4	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	135.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.389	3.89
5	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	135.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.389	3.89
6	PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	11-10-16	8-11-16	28	140.00	15.00	10.00	10.15	80.91	78.54	30	1	0.375	3.75

**PROMEDIO: 3.82 mm/s**



FORMULA:

$$\text{COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (mm/s)} = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \ln \left( \frac{h_1}{h_2} \right) \times 10$$

**Tabla 4.61: Cálculo de Permeabilidad del concreto permeable PP18-E.**

# CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

## 5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

### 5.1.1 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA DEL CONCRETO

Nos permite determinar la temperatura del concreto fresco para verificar el cumplimiento de los requerimientos especificados.

Como la temperatura del concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades tanto del concreto fresco como del endurecido, muchas especificaciones limitan la temperatura del concreto fresco. La medición de la temperatura está dada por las normas ASTM C 1064, NTP 339.184.

El termómetro debe tener precisión de  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1^{\circ}\text{F}$ ) y debe permanecer en una muestra representativa de concreto, por lo menos, 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice.

Esta medición debe terminar en un periodo máximo de 5 minutos después de la tomada de la muestra.

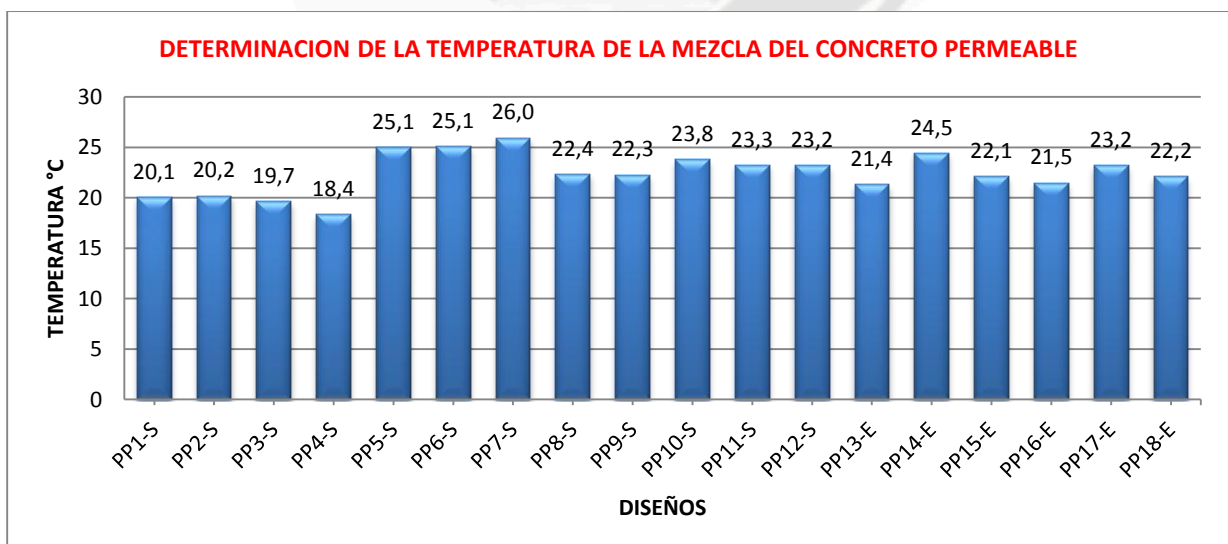


Fig. 5.1a: Resultados obtenidos de la Determinación de la temperatura del concreto permeable.

TEMPERATURA PROMEDIO DEL CONCRETO (°C)																		
DISEÑO	PP1-S	PP2-S	PP3-S	PP4-S	PP5-S	PP6-S	PP7-S	PP8-S	PP9-S	PP10-S	PP11-S	PP12-S	PP13-E	PP14-E	PP15-E	PP16-E	PP17-E	PP18-E
TEMPERATURA (°C)	20.1	20.2	19.7	18.4	25.1	25.1	26.0	22.4	22.3	23.8	23.3	23.2	21.4	24.5	22.1	21.5	23.2	22.2

Tabla 5.1: Resultados obtenidos de la temperatura del concreto permeable.

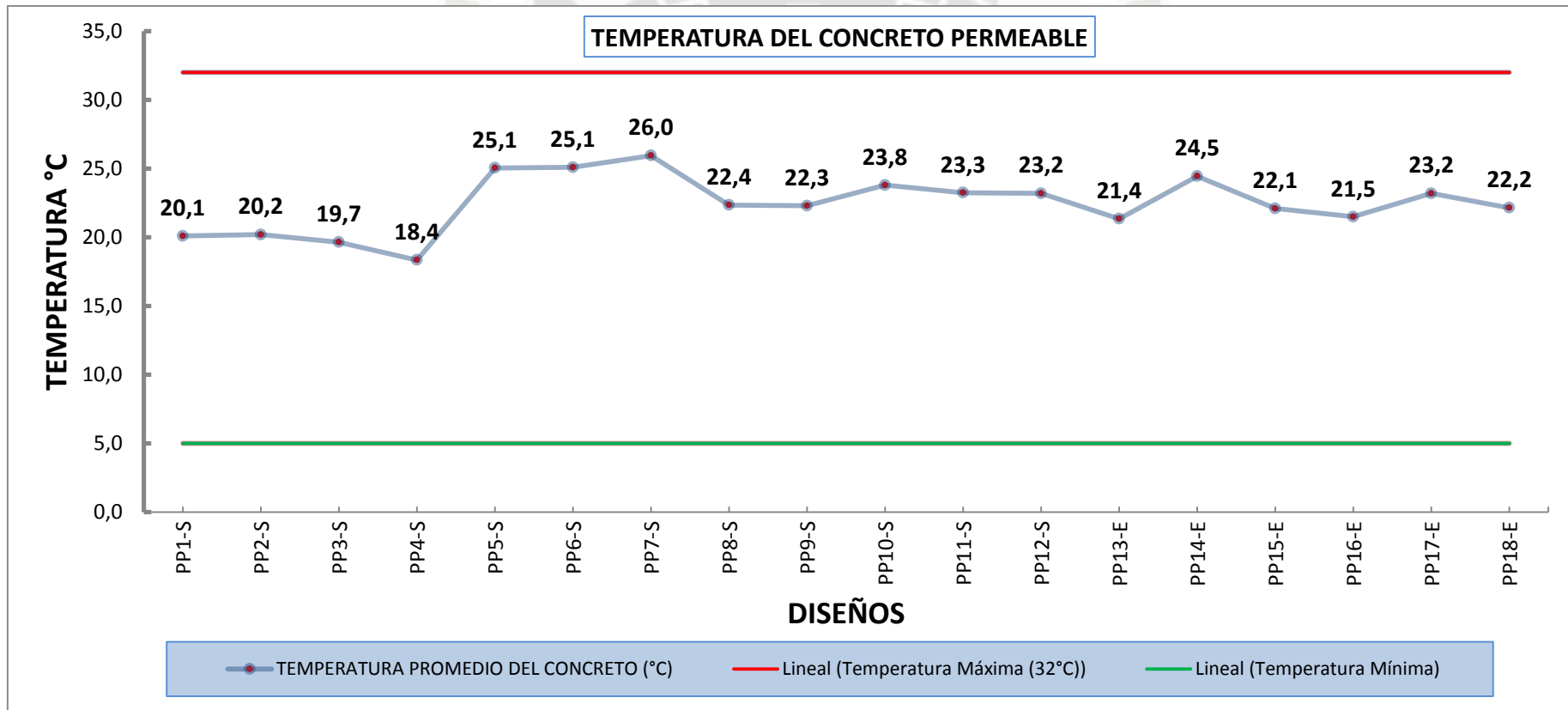


Fig. 5.1: Resultados obtenidos de la temperatura, límites máximos y límites mínimos de aceptabilidad de la temperatura del concreto.

## 5.1.2 ASENTAMIENTO DE CONCRETO FRESCO CON EL CONO DE ABRAMS

DISEÑO	SLUMP PROM. (")
PP7-S	1/2
PP13-E	1/2

Tabla 5.2: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP7-S y PP13-E.

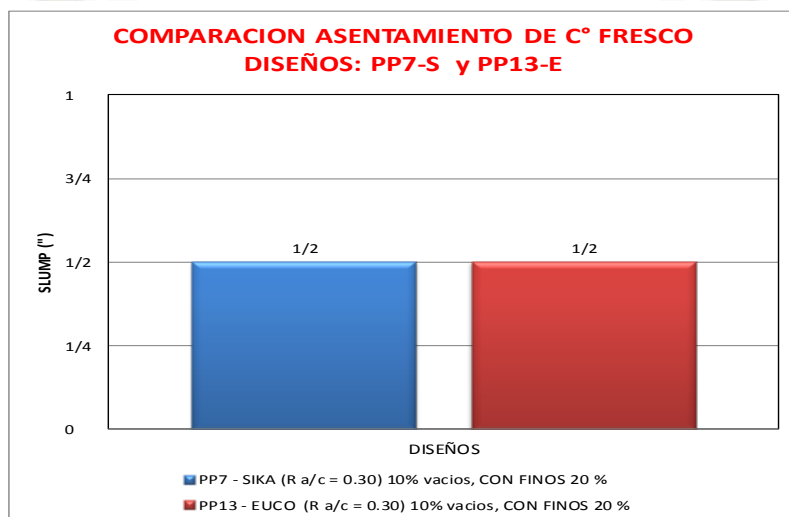


Fig. 5.2: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP7-S y PP13-E.

DISEÑO	SLUMP PROM. (")
PP8-S	1
PP14-E	1 3/4

Tabla 5.3: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP8-S y PP14-E.

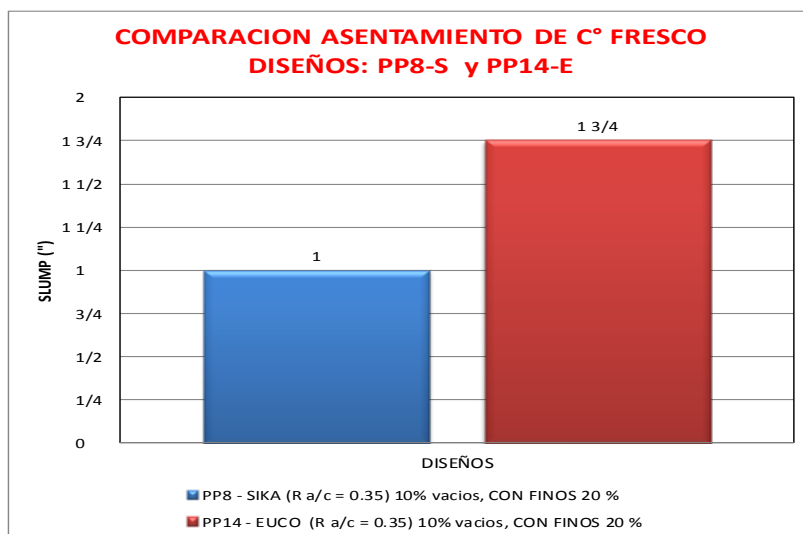


Fig. 5.3: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP8-S y PP14-E.

DISEÑO	SLUMP PROM. (")
PP9-S	2 3/4
PP15-E	2 1/4

Tabla 5.4: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, PP9-S y PP15-E.

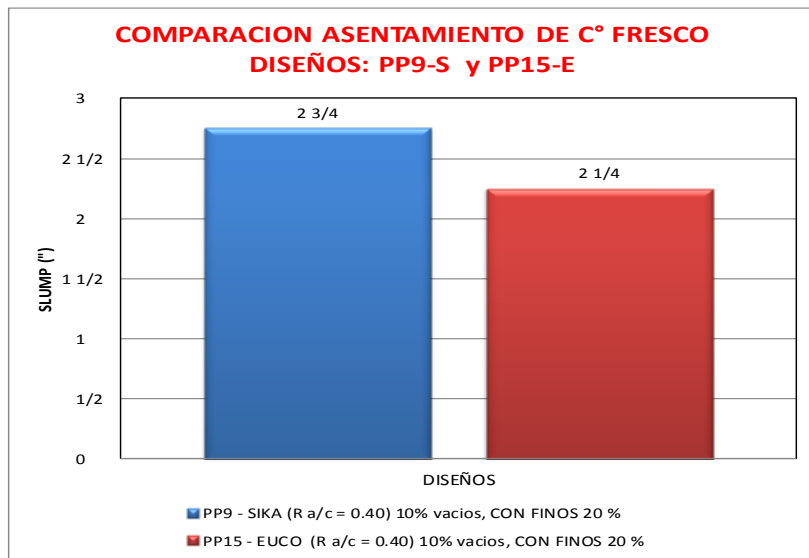


Fig. 5.4: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑO	SLUMP PROM. (")
PP10-S	1/4
PP16-E	5

Tabla 5.5: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP10-S y PP16-E.

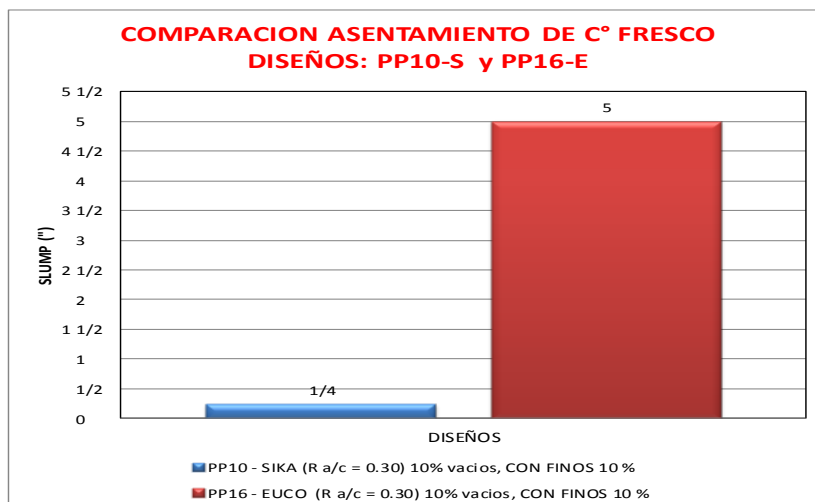


Fig. 5.5: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP10-S y PP16-E.

DISEÑO	SLUMP PROM. (")
PP11-S	4
PP17-E	6 1/4

Tabla 5.6: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP11-S y PP17-E.

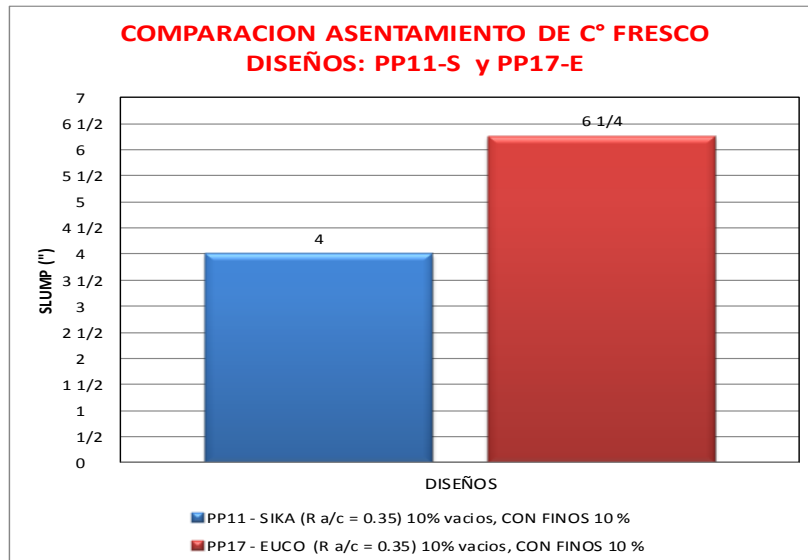


Fig. 5.6: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP11-S y PP17-E.

DISEÑO	SLUMP PROM. (")
PP12-S	4 3/4
PP18-E	7

Tabla 5.7: Resultados comparativos obtenidos del asentamiento, diseño PP12-S y PP18-E.

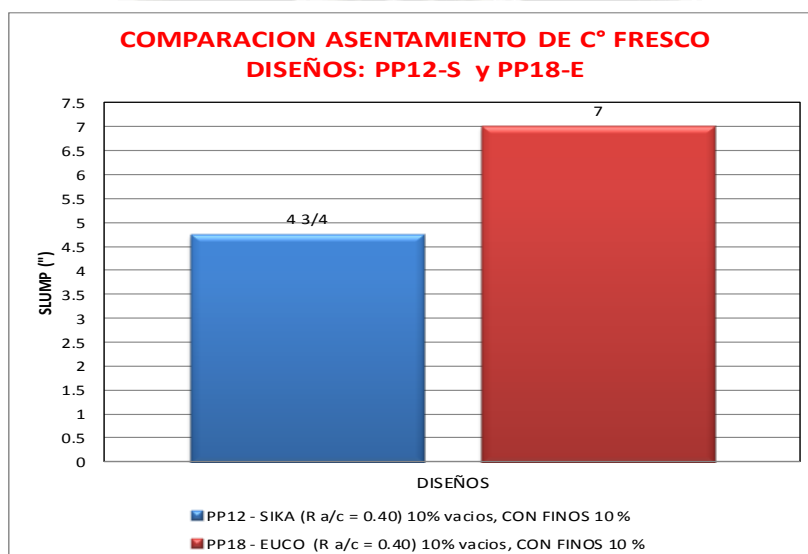


Fig. 5.7: Resultados de la comparación del asentamiento, diseño PP12-S y PP18-E.

### 5.1.3 REVENIMIENTO DE CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS INVERTIDO

REVENIMIENTO DE CONCRETO CON EL CONO DE ABRAMS INVERTIDO																		
DISEÑO	PP1-S	PP2-S	PP3-S	PP4-S	PP5-S	PP6-S	PP7-S	PP8-S	PP9-S	PP10-S	PP11-S	PP12-S	PP13-E	PP14-E	PP15-E	PP16-E	PP17-E	PP18-E
SLUMP HOR. (")	12	15 1/4	14 1/4	15	14	15 1/4	14 1/4	14	14 1/2	12 3/4	13 1/4	14	16 1/4	14 1/2	14	16 3/4	16 1/2	17
TIEMPO (s)	19.5	17.5	17	15.5	17.5	16	17	14	13.5	17	14	16	16.5	15.5	15.5	16.5	16	14.5

Tabla 5.8: Resultados obtenidos Revenimiento de concreto con el cono de abrams invertido.

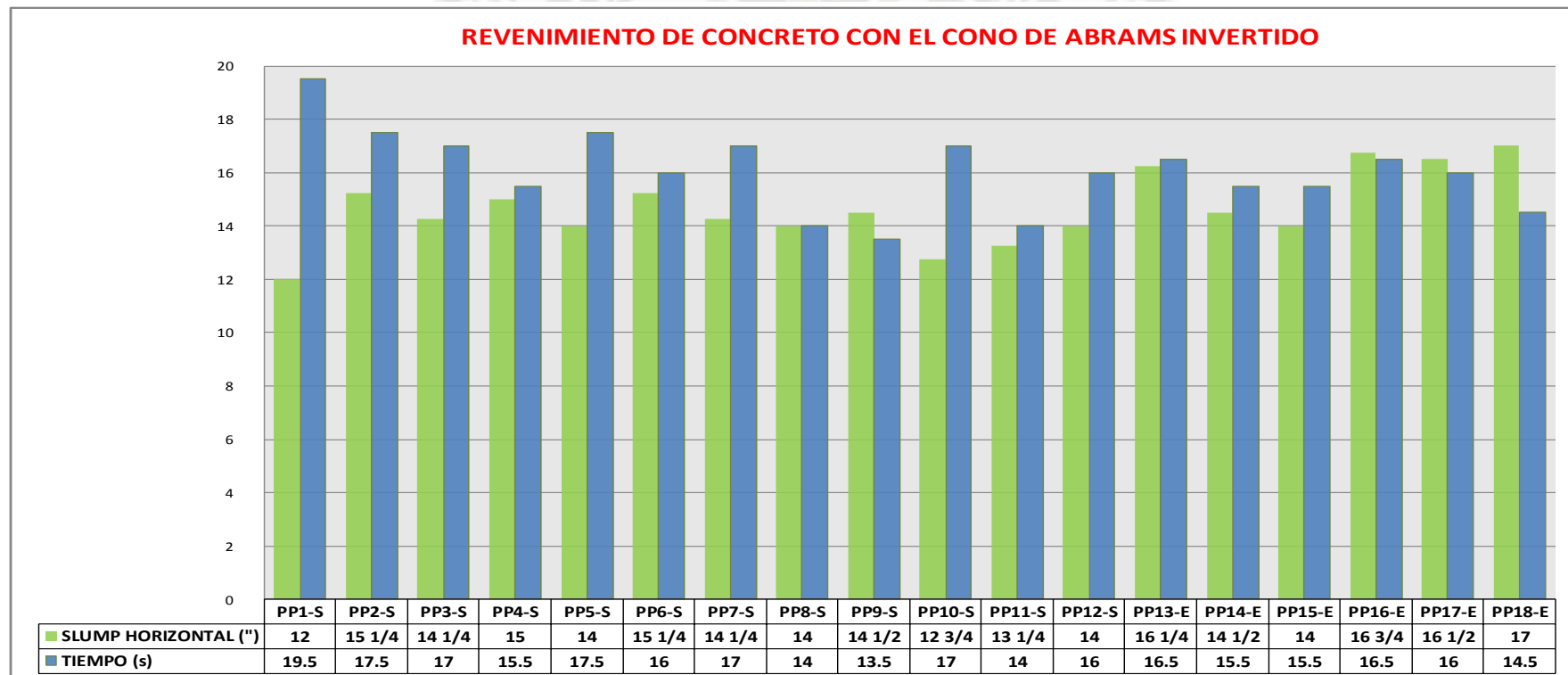


Fig. 5.8: Resultados obtenidos del revenimiento con el cono de abrams invertido Slump - Tiempo.

## 5.1.4 CONTENIDO DE VACÍOS

DISEÑO	AIRE ATRAPADO (%)	CONTENIDO DE VACIOS (%)	PORCENTAJE DE VACIOS DISEÑO (%)
PP7-S	12.1	10.9	10
PP13-E	13	12.5	10

Tabla 5.9: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP7-S y PP13-E.

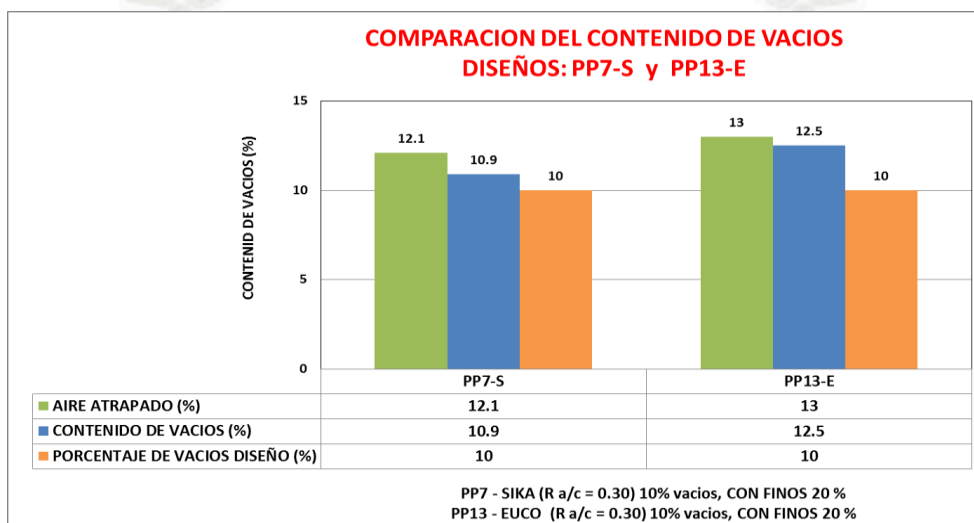


Fig. 5.9: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP7-S y PP13-E.

DISEÑO	AIRE ATRAPADO (%)	CONTENIDO DE VACIOS (%)	PORCENTAJE DE VACIOS DISEÑO (%)
PP8-S	6.5	6.4	10
PP14-E	8.2	7.6	10

Tabla 5.10: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP8-S y PP14-E.

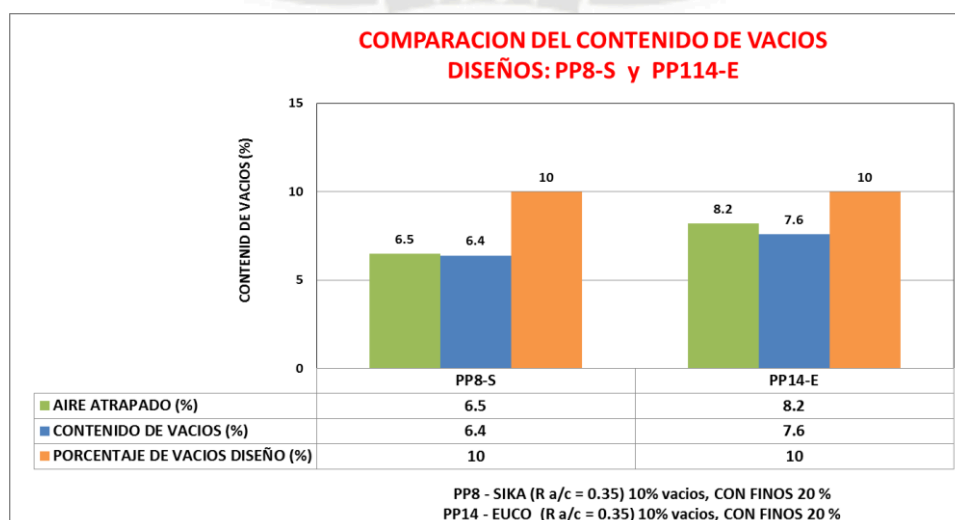


Fig. 5.10: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP8-S y PP14-E.

DISEÑO	AIRE ATRAPADO (%)	CONTENIDO DE VACIOS (%)	PORCENTAJE DE VACIOS DISEÑO (%)
PP9-S	12.4	11.1	10
PP15-E	8	8.6	10

Tabla 5.11: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP9-S y PP15-E.

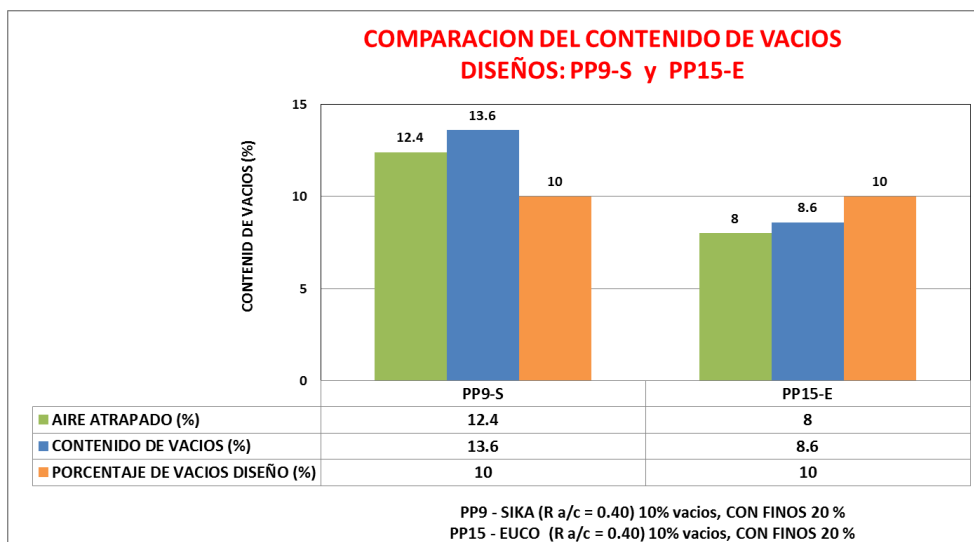


Fig. 5.11: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑO	AIRE ATRAPADO (%)	CONTENIDO DE VACIOS (%)	PORCENTAJE DE VACIOS DISEÑO (%)
PP10-S	12.4	13.6	10
PP16-E	12.5	11.8	10

Tabla 5.12: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP10-S y PP16-E.

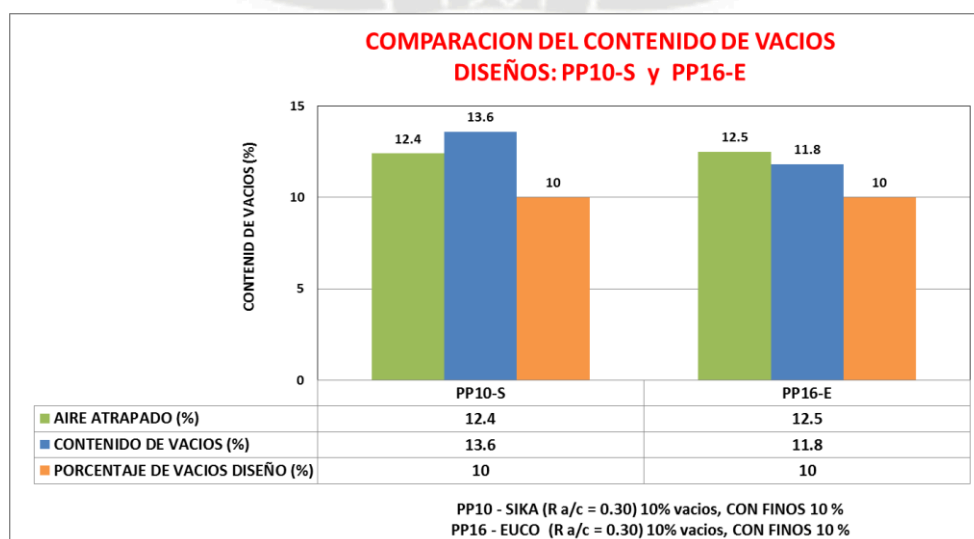


Fig. 5.12: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP10-S y PP16-E.

DISEÑO	AIRE ATRAPADO (%)	CONTENIDO DE VACIOS (%)	PORCENTAJE DE VACIOS DISEÑO (%)
PP11-S	10.8	11.5	10
PP17-E	13	13.3	10

Tabla 5.13: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP11-S y PP17-E.

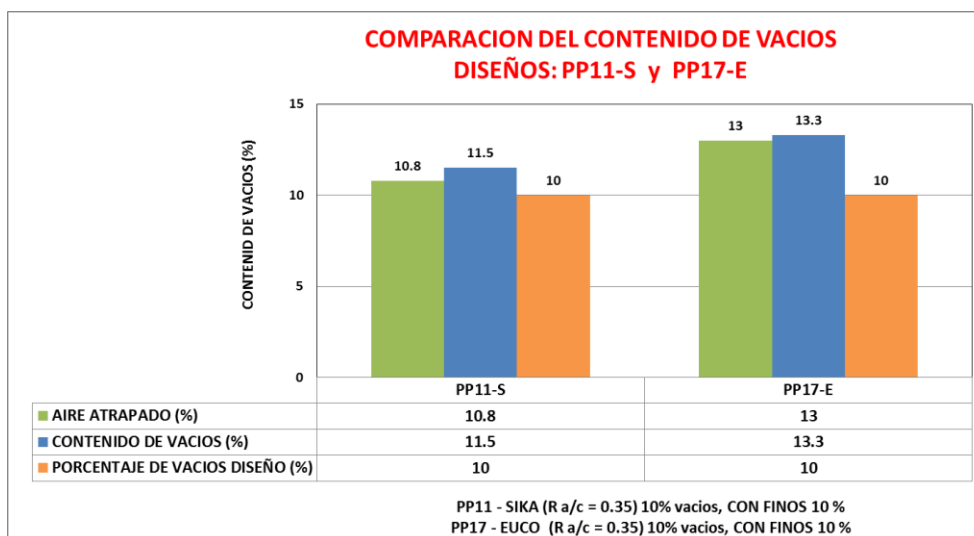


Fig. 5.13: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP11-S y PP17-E.

DISEÑO	AIRE ATRAPADO (%)	CONTENIDO DE VACIOS (%)	PORCENTAJE DE VACIOS DISEÑO (%)
PP12-S	11.8	11.1	10
PP18-E	13.1	12.6	10

Tabla 5.14: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable, diseño PP12-S y PP18-E.

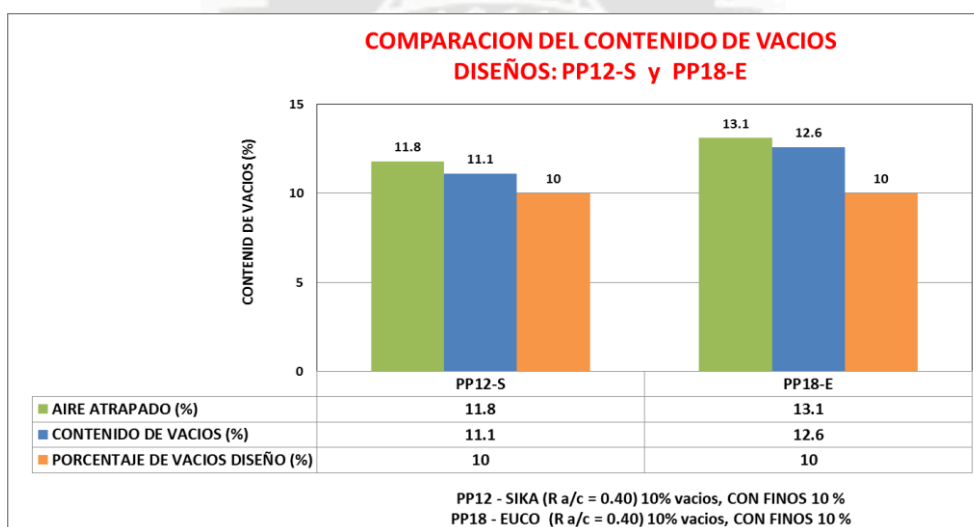


Fig. 5.14: Resultados de la comparación del contenido de vacíos, diseño PP12-S y PP18-E.

COMPARACION DE LOS CONTENIDO DE VACÍOS																		
DISEÑO	PP1-S	PP2-S	PP3-S	PP4-S	PP5-S	PP6-S	PP7-S	PP8-S	PP9-S	PP10-S	PP11-S	PP12-S	PP13-E	PP14-E	PP15-E	PP16-E	PP17-E	PP18-E
AIRE ATRAPADO (%)	18	17.2	16.4	8.5	8.6	11.3	12.1	6.5	7.1	12.4	10.8	11.8	13	8.2	8	12.5	13	13.1
CONTENIDO DE VACIOS (%)	16.1	16.8	15.2	9.1	10.2	9	10.9	6.4	8.2	13.6	11.5	11.1	12.5	7.6	8.6	11.8	13.3	12.6
PORCENTAJE DE VACIOS DISEÑO (%)	15	15	15	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

Tabla 5.15: Resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable.

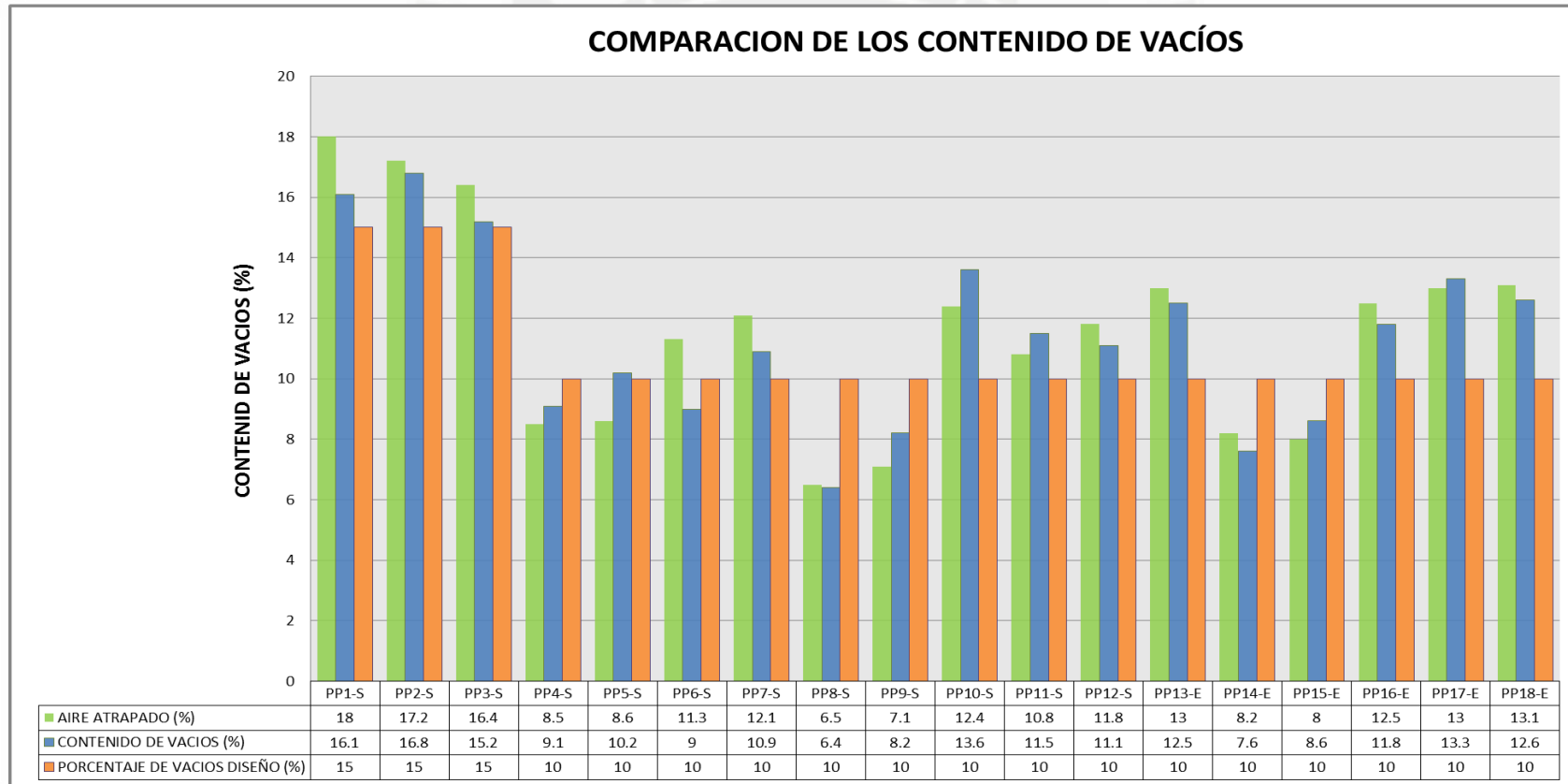


Fig. 5.15: Resultados obtenidos de la comparación del contenido de vacíos.

## 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

### 5.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP1-S	7	15	16.1	66
	28	15	16.1	88

Tabla 5.16: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP1-S, Sin finos.

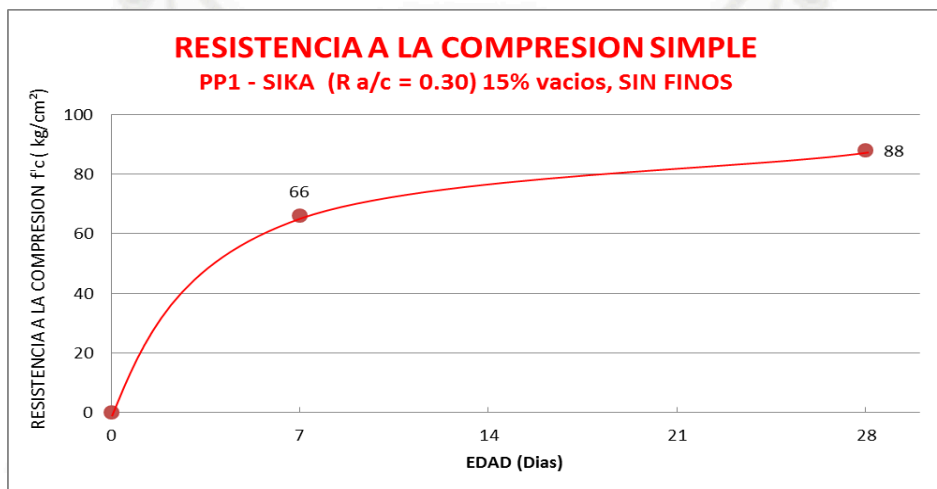


Fig. 5.16: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP1-S, Sin finos.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP2-S	7	15	16.8	64
	28	15	16.8	95

Tabla 5.17: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP2-S, Sin finos.

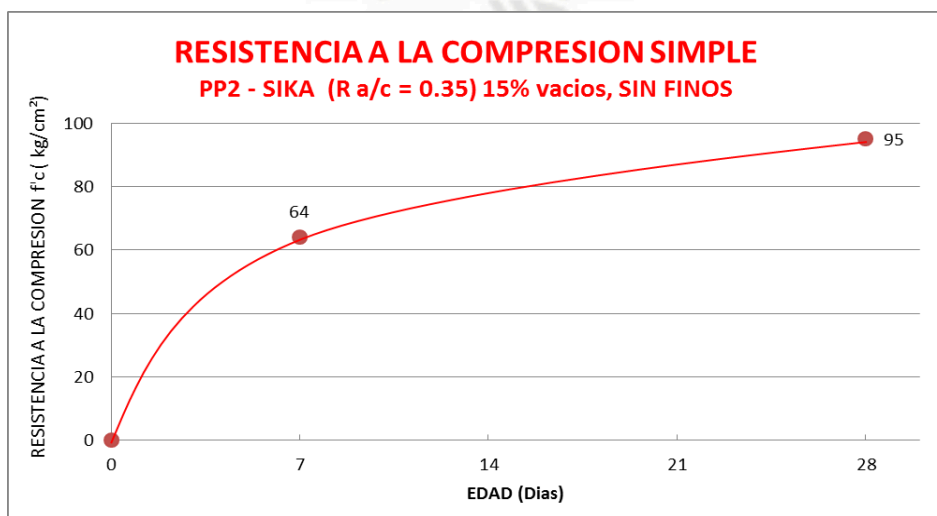


Fig. 5.17: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP2-S, Sin finos.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de	% Vacíos	f'c= kg/cm2
--------	------	-------------	----------	-------------

		Diseño	Final	
PP3-S	7	15	15.2	64
	28	15	15.2	95

Tabla 5.18: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP3-S, Sin finos.

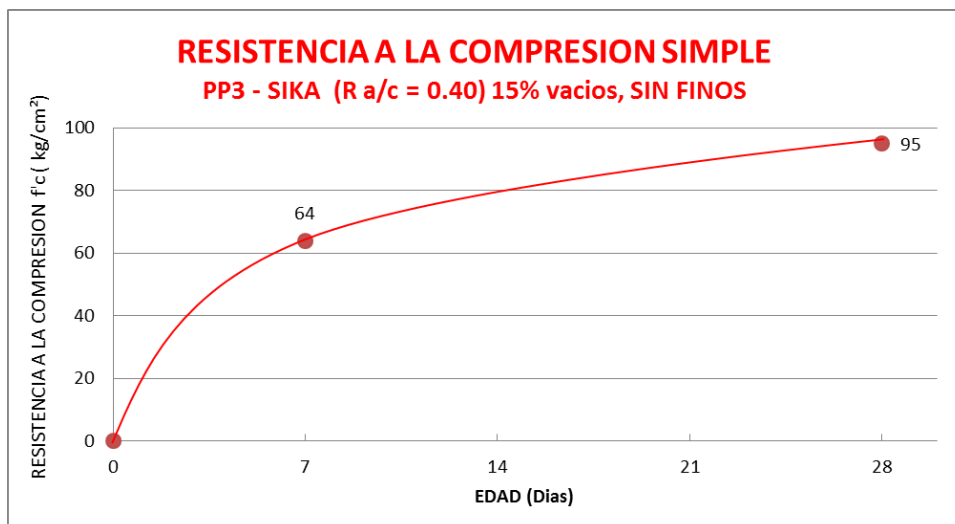


Fig. 5.18: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP3-S, Sin finos.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP4-S	7	10	9.1	55
	28	10	9.1	67

Tabla 5.19: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP4-S, Sin finos.

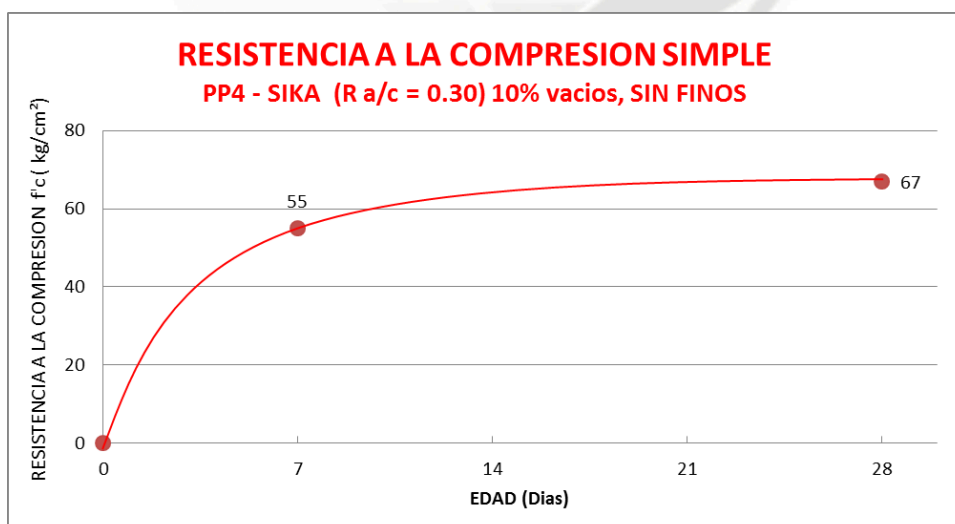


Fig. 5.19: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP4-S, Sin finos.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de	% Vacíos	f'c= kg/cm2
--------	------	-------------	----------	-------------

		Diseño	Final	
PP5-S	7	10	10.2	111
	28	10	10.2	147

Tabla 5.20: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP5-S, Sin finos.

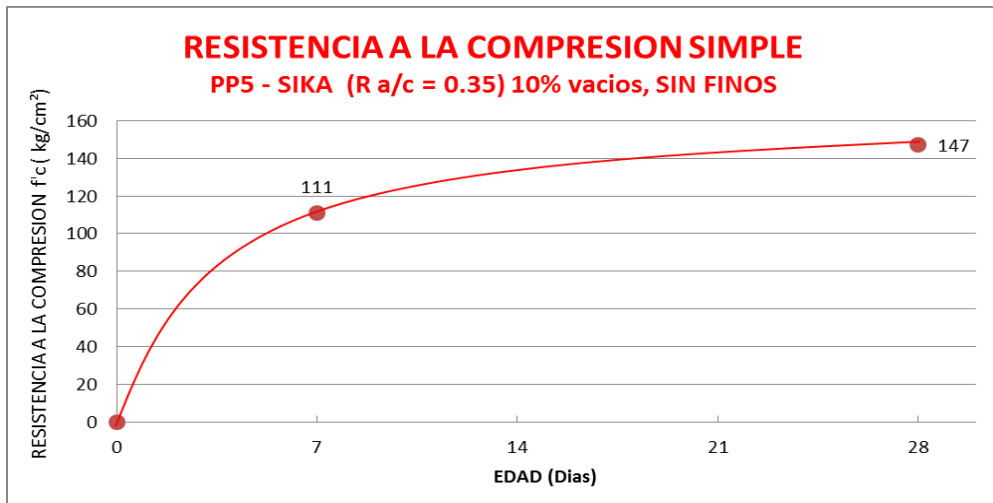


Fig. 5.20: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP5-S, Sin finos.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP6-S	7	10	9	104
	28	10	9	119

Tabla 5.21: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP6-S, Sin finos.

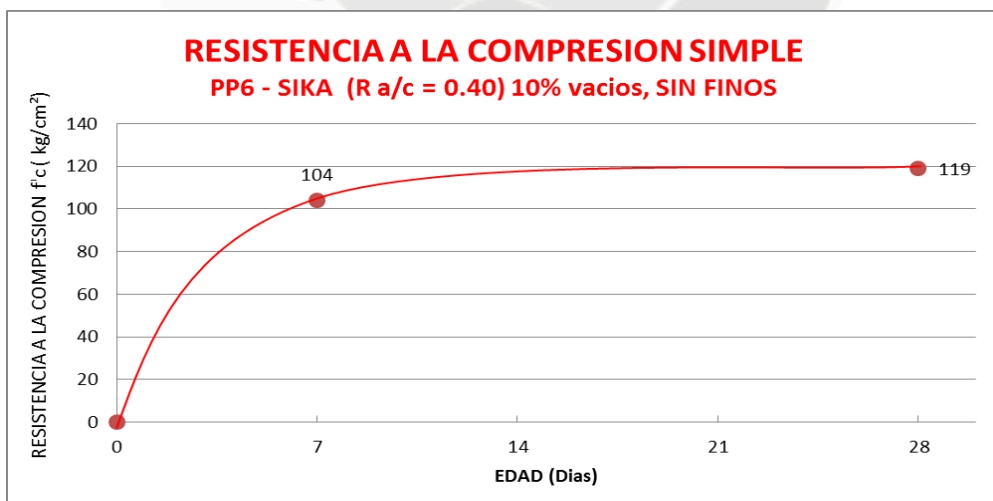


Fig. 5.21: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP6-S, Sin finos.

DISEÑO	PP1-S	PP2-S	PP3-S	PP4-S	PP5-S	PP6-S
7 Días $f'_c$ =(kg/cm <sup>2</sup> )	66	64	64	55	111	104
28 Días $f'_c$ =(kg/cm <sup>2</sup> )	88	95	95	67	147	119

Tabla 5.22: Resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión simple – Sin Finos.

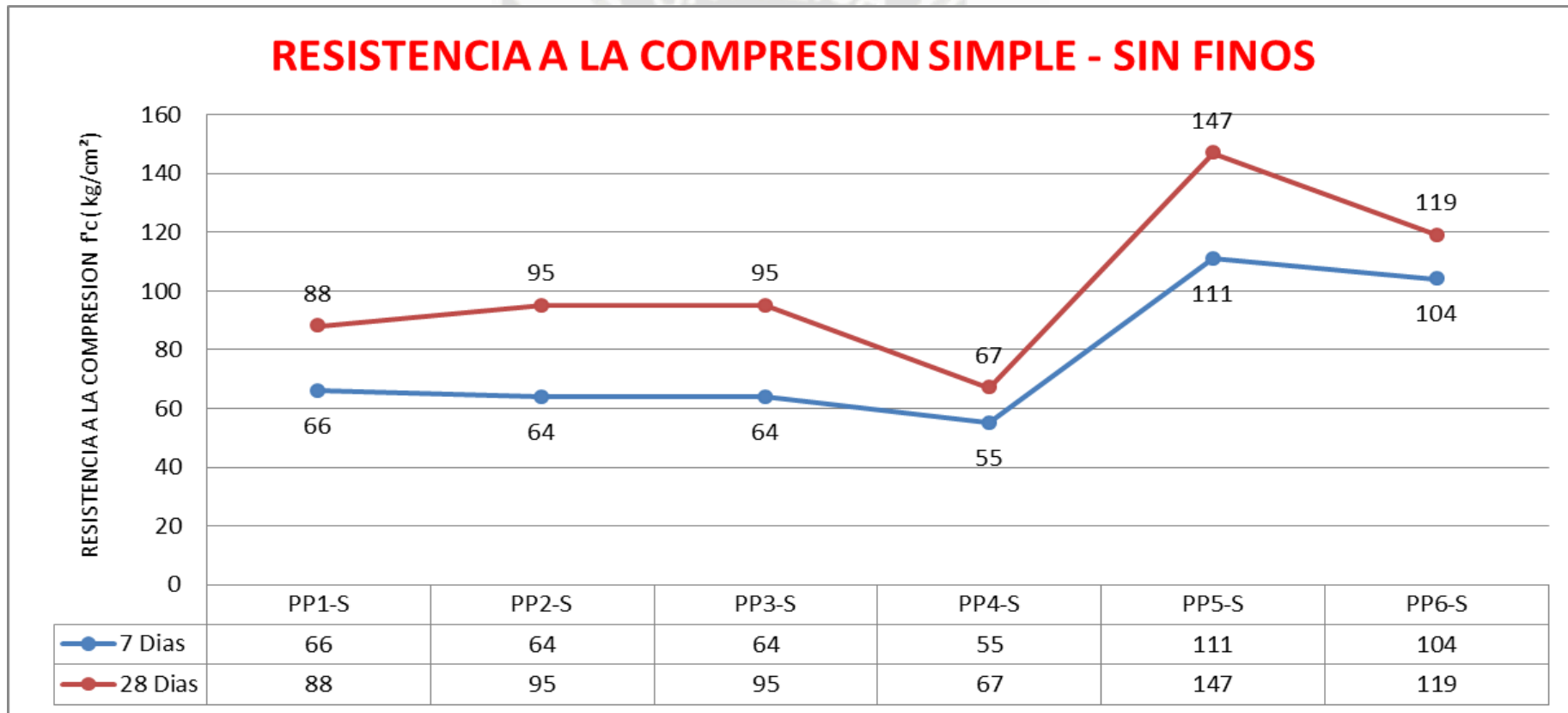


Fig. 5.22: Resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión simple – Sin Finos.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP7-S	7	10	10.9	150
	28	10	10.9	281
PP13-E	7	10	12.5	181
	28	10	12.5	284

Tabla 5.23: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP7-S y PP13-E.

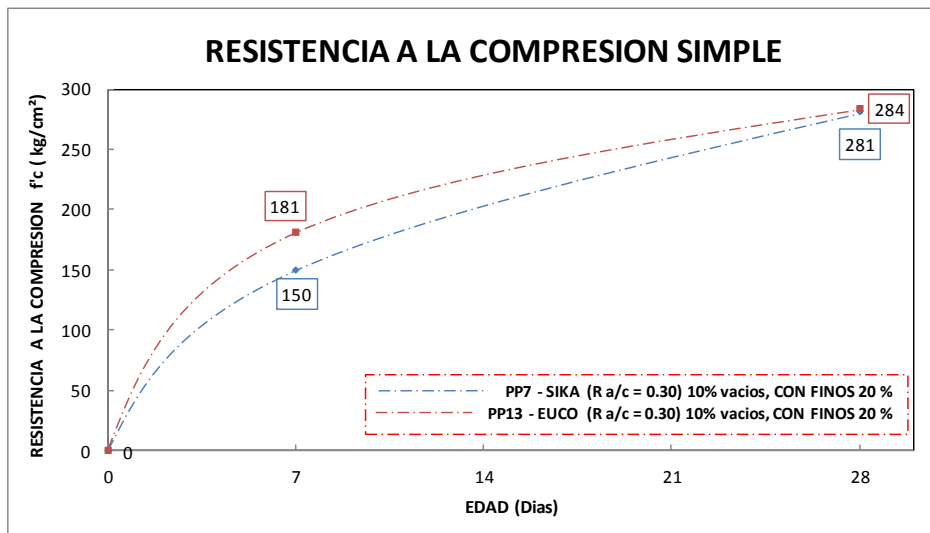


Fig. 5.23: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP7-S y PP13-E.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP8-S	7	10	6.4	437
	28	10	6.4	511
PP14-E	7	10	7.6	480
	28	10	7.6	557

Tabla 5.24: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP8-S y PP14-E.

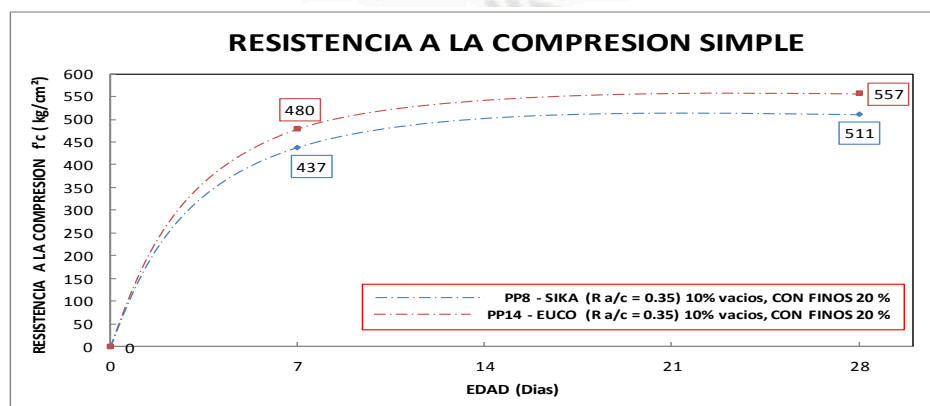


Fig. 5.24: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP8-S y PP14-E.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP9-S	7	10	13.6	437
	28	10	13.6	508
PP15-E	7	10	8.6	413
	28	10	8.6	490

Tabla 5.25: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP9-S y PP15-E.

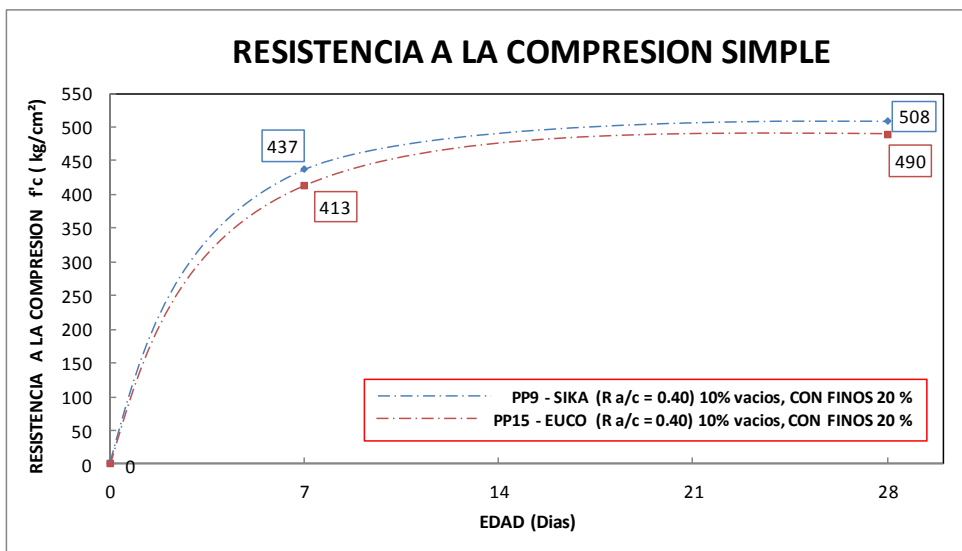


Fig. 5.25: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP10-S	7	10	13.6	154
	28	10	13.6	258
PP16-E	7	10	11.8	159
	28	10	11.8	276

Tabla 5.26: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP10-S y PP16-E.

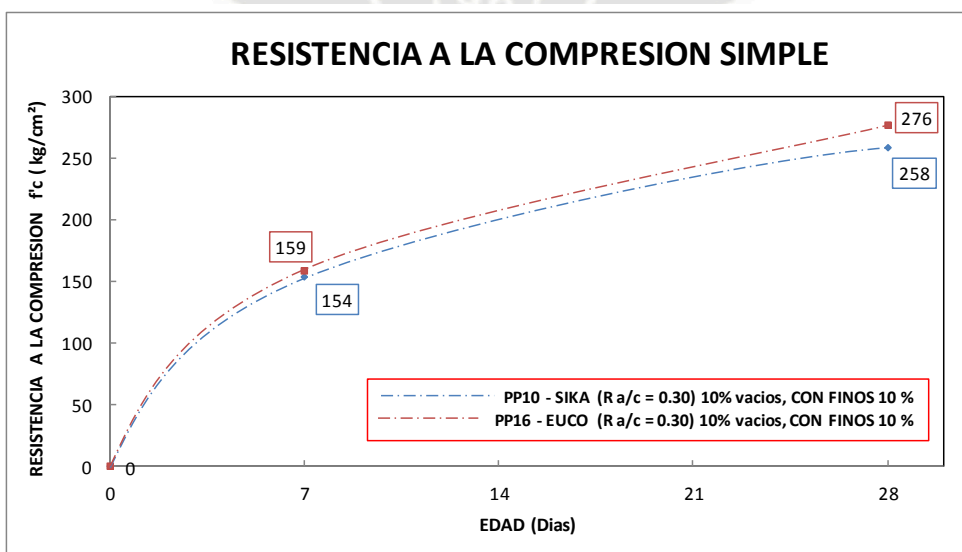


Fig. 5.26: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP10-S y PP16-E.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP11-S	7	10	11.5	156
	28	10	11.5	287
PP17-E	7	10	13.3	220
	28	10	13.3	313

Tabla 5.27: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP9-S y PP15-E.

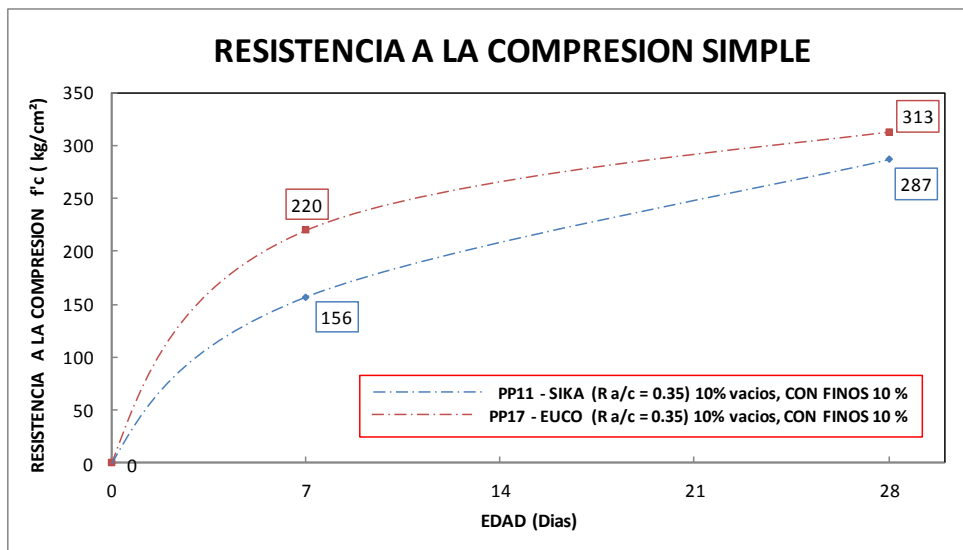


Fig. 5.27: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑO	Edad	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'c= kg/cm2
PP12-S	7	10	11.1	198
	28	10	11.1	304
PP18-E	7	10	12.6	231
	28	10	12.6	334

Tabla 5.28: Resultados de la Resistencia a la Compresión, diseño PP12-S y PP18-E.

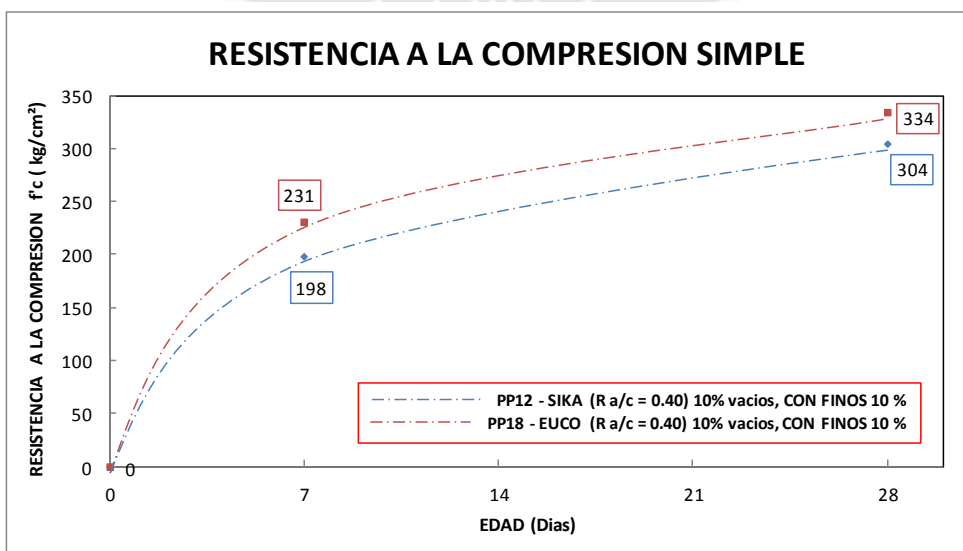


Fig. 5.28: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la compresión, diseño PP12-S y PP18-E.

DISEÑO	PP7-S	PP8-S	PP9-S	PP10-S	PP11-S	PP12-S	PP13-E	PP14-E	PP15-E	PP16-E	PP17-E	PP18-E
7 Días $f'c=(kg/cm^2)$	150	437	437	154	156	198	181	480	413	159	220	231
28 Días $f'c=(kg/cm^2)$	281	511	508	258	287	304	284	557	490	276	313	334

Tabla 5.29: Resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión simple – Con Finos.

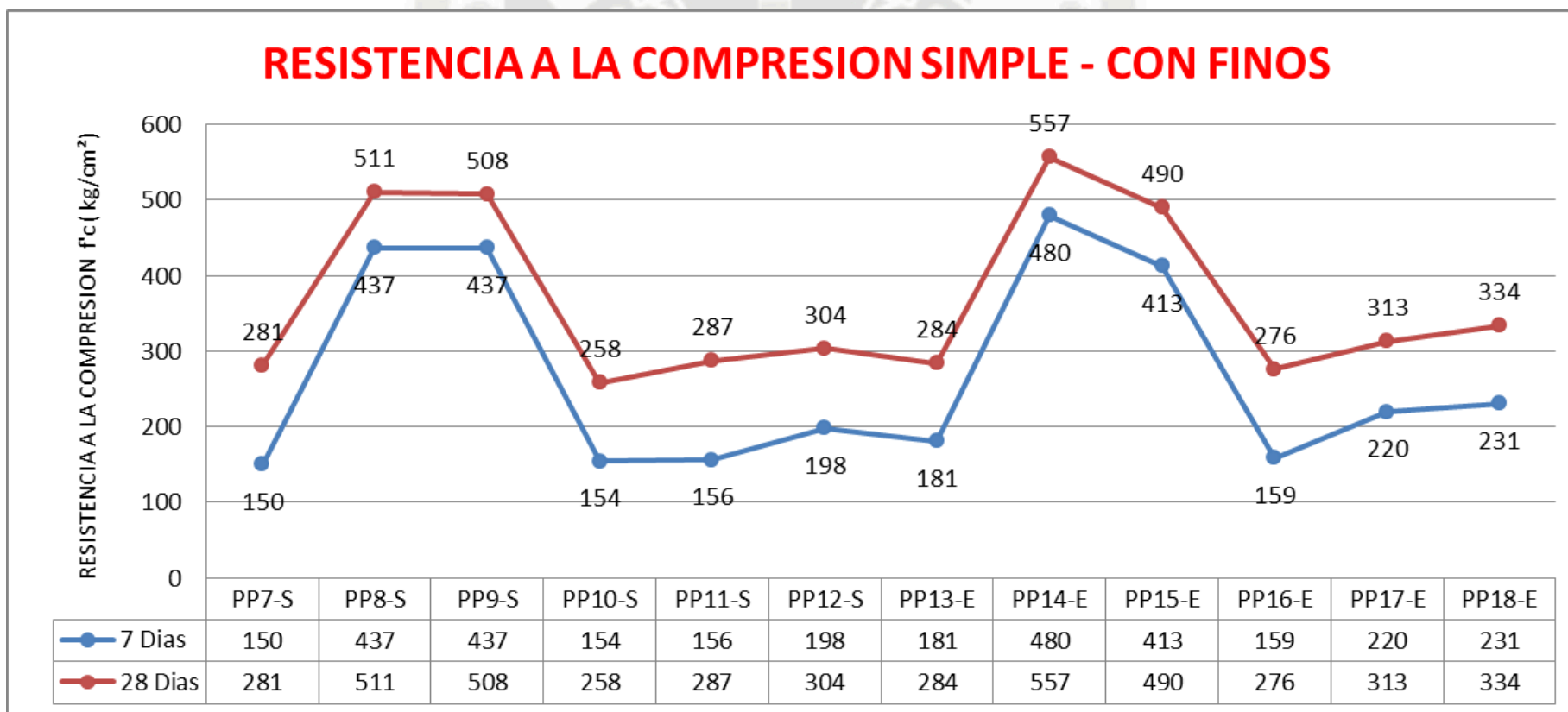


Fig. 5.29: Resultados obtenidos de la Resistencia a la compresión simple – Con Finos.

## 5.2.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

DISEÑO	Edad (días)	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'ti= kg/cm2
PP7-S	7	10	10.9	35
	28	10	10.9	37
PP13-E	7	10	12.5	32
	28	10	12.5	39

Tabla 5.30: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP7-S y PP13-E.

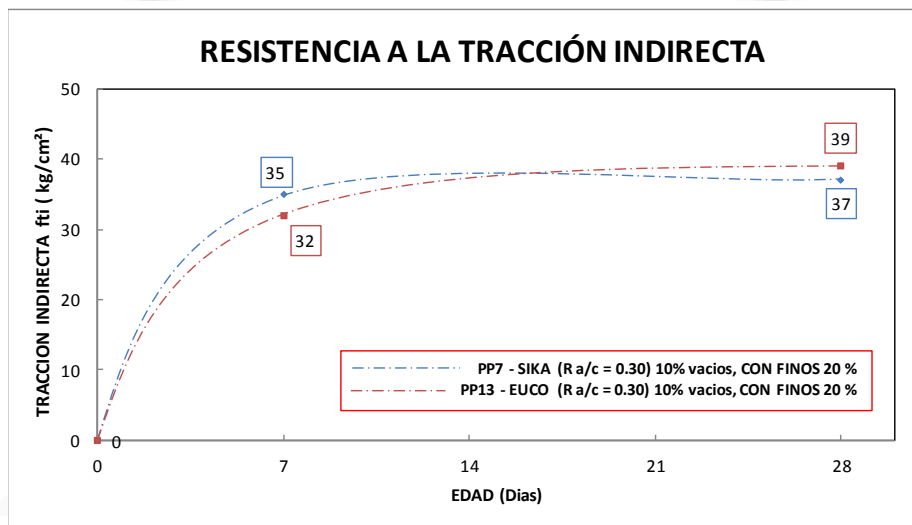


Fig. 5.30: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP7-S y PP13-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'ti= kg/cm2
PP8-S	7	10	6.4	44
	28	10	6.4	47
PP14-E	7	10	7.6	45
	28	10	7.6	48

Tabla 5.31: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP8-S y PP14-E.

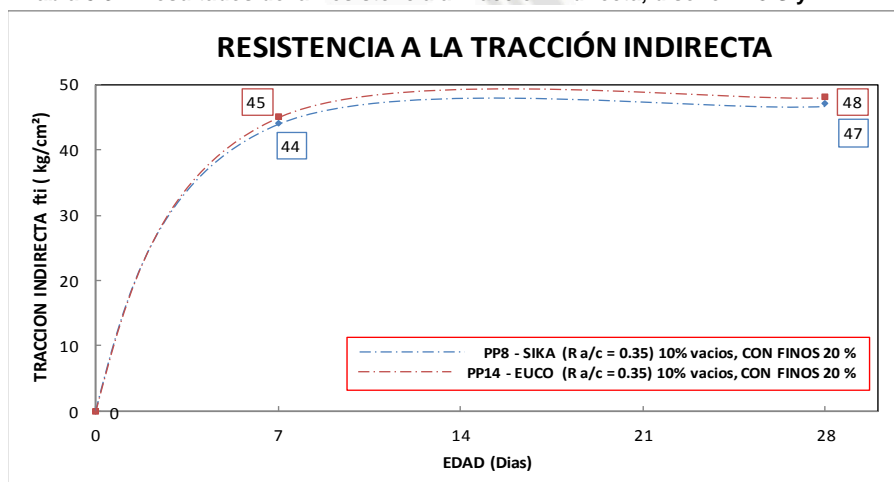


Fig. 5.31: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP8-S y PP14-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'ti= kg/cm2
PP9-S	7	10	13.6	45
	28	10	13.6	51
PP15-E	7	10	8.6	41
	28	10	8.6	48

Tabla 5.32: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP9-S y PP15-E.

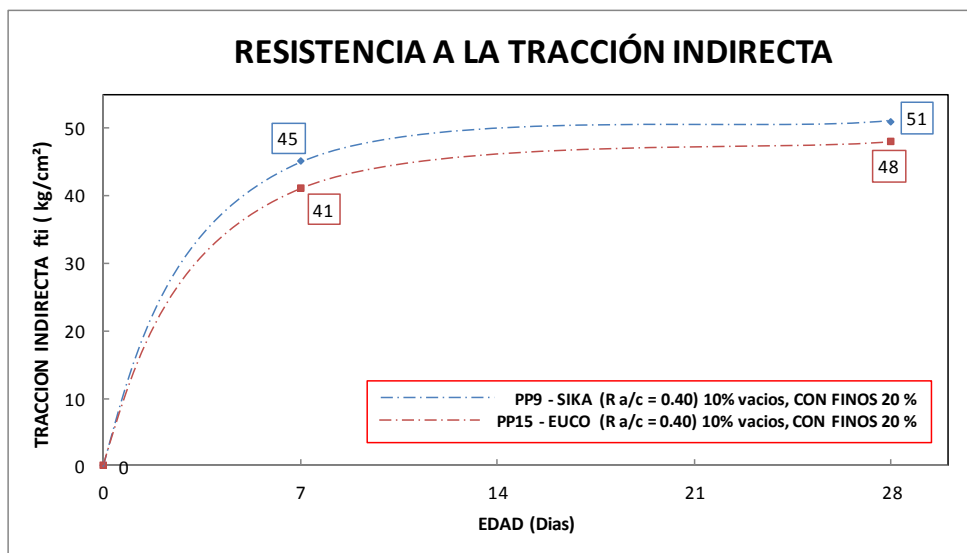


Fig. 5.32: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'ti= kg/cm2
PP10-S	7	10	13.6	33
	28	10	13.6	41
PP16-E	7	10	11.8	29
	28	10	11.8	32

Tabla 5.33: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP10-S y PP16-E.

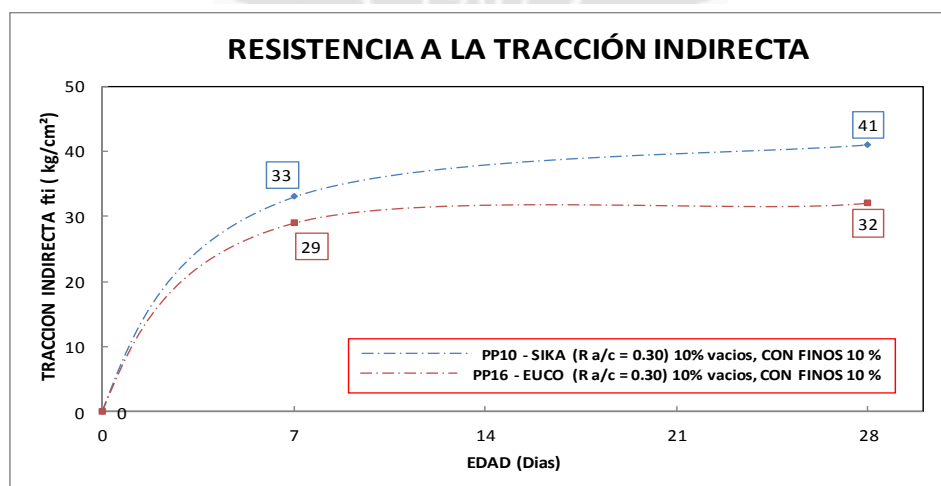


Fig. 5.33: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP10-S y PP16-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'ti= kg/cm2
PP11-S	7	10	11.5	33
	28	10	11.5	38
PP17-E	7	10	13.3	35
	28	10	13.3	40

Tabla 5.34: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP11-S y PP17-E.

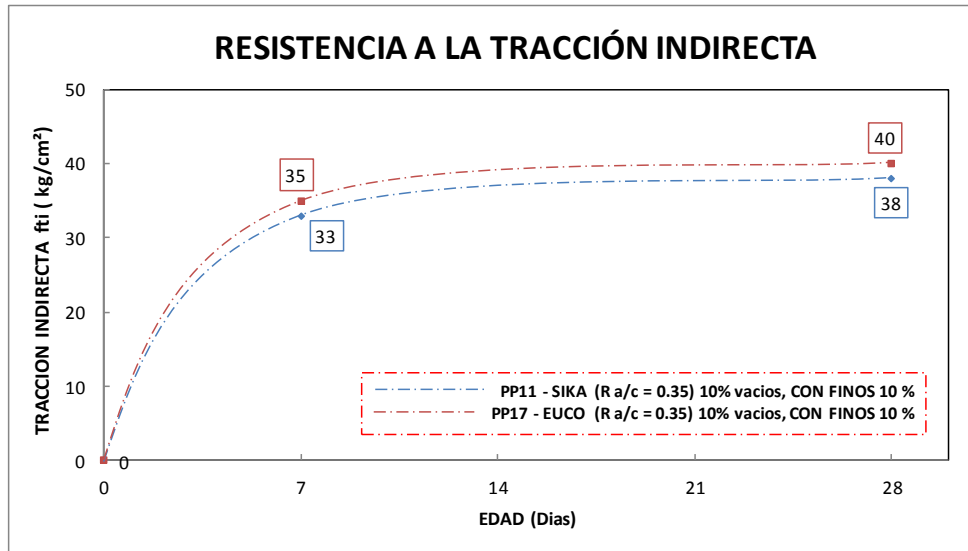


Fig. 5.34: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta. Diseño PP11-S y PP17-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacíos de Diseño	% Vacíos Final	f'ti= kg/cm2
PP12-S	7	10	11.1	35
	28	10	11.1	37
PP18-E	7	10	12.6	39
	28	10	12.6	49

Tabla 5.35: Resultados de la Resistencia a Tracción Indirecta, diseño PP12-S y PP18-E.

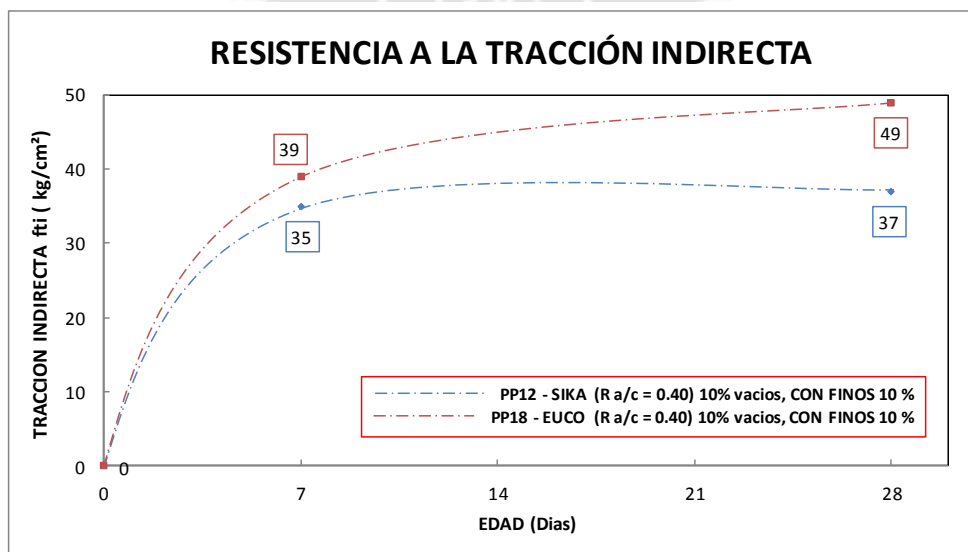


Fig. 5.35: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a Tracción indirecta, diseño PP12-S y PP18-E.

DISEÑO	PP7-S	PP8-S	PP9-S	PP10-S	PP11-S	PP12-S	PP13-E	PP14-E	PP15-E	PP16-E	PP17-E	PP18-E
7 Días $f'c=(kg/cm^2)$	35	44	45	33	33	35	32	45	41	29	35	39
28 Días $f'c=(kg/cm^2)$	37	47	51	41	38	37	39	48	48	32	40	49

Tabla 5.36: Resultados obtenidos de la Resistencia a la Tracción Indirecta.

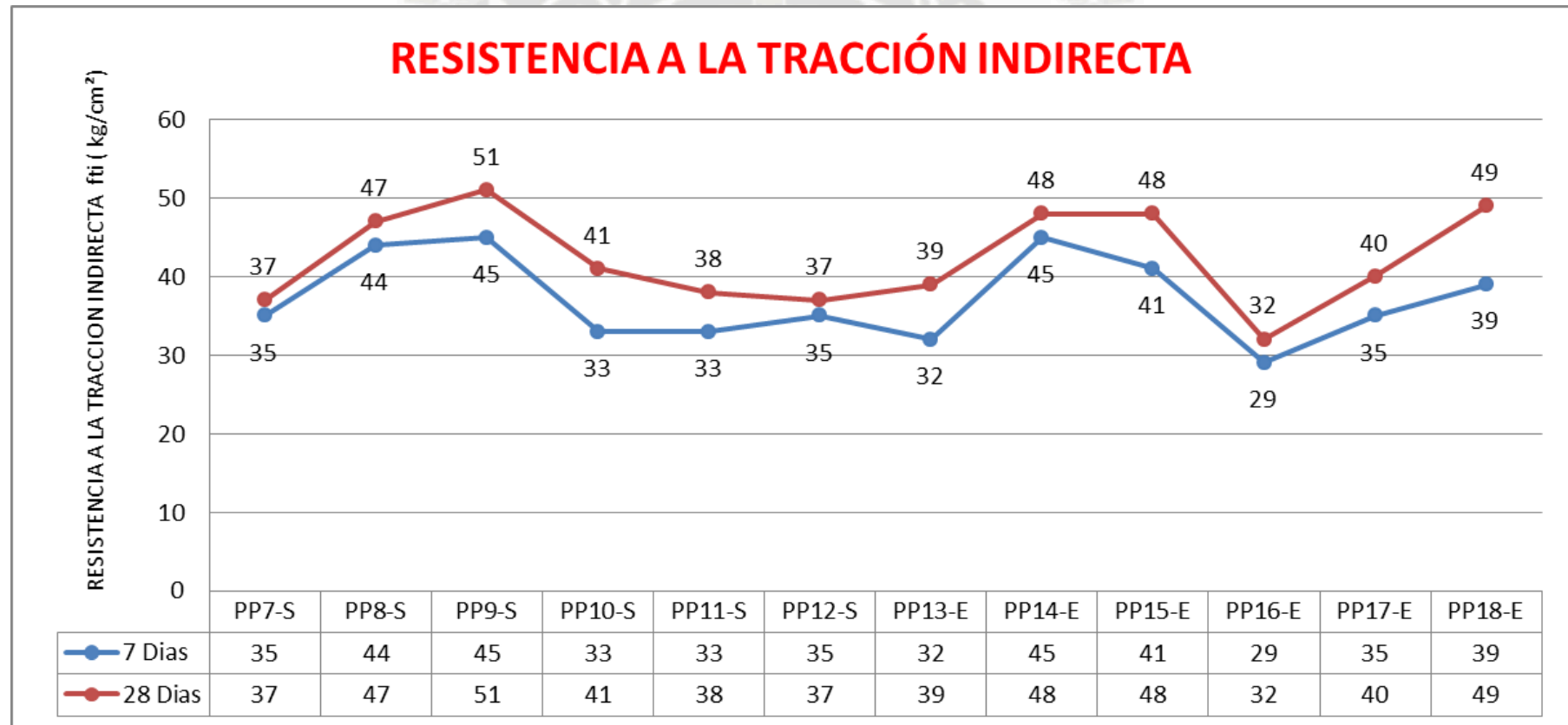


Fig. 5.36: Resultados obtenidos de la Resistencia a la Tracción Indirecta.

### 5.2.3 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO

DISEÑO	Edad (días)	% Vacios	% Vacios	MR= kg/cm <sup>2</sup>
PP7-S	7	10	10.9	33.8
	28	10	10.9	43.8
PP13-E	7	10	12.5	34.3
	28	10	12.5	43.3

Tabla 5.37: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP7-S y PP13-E.

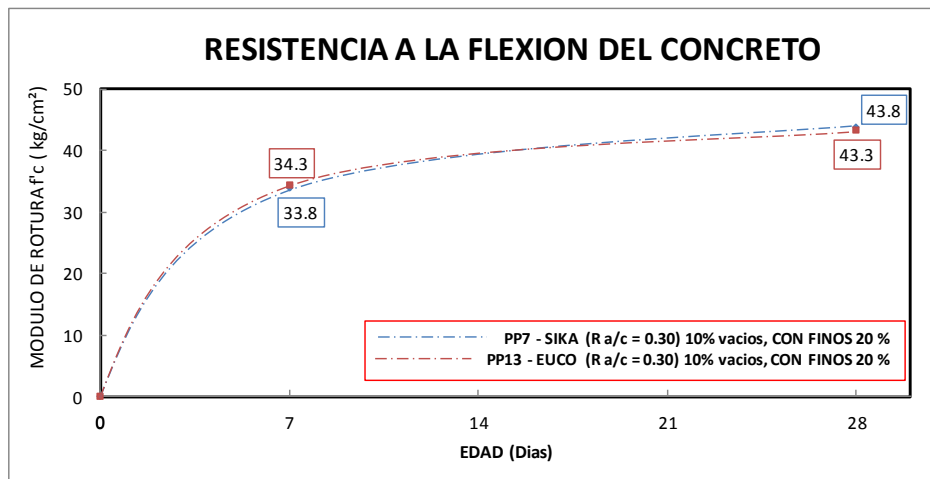


Fig. 5.37: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP7-S y PP13-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacios	% Vacios	MR= kg/cm <sup>2</sup>
PP8-S	7	10	6.4	42.0
	28	10	6.4	58.0
PP14-E	7	10	7.6	43.7
	28	10	7.6	60.1

Tabla 5.38: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP8-S y PP14-E.

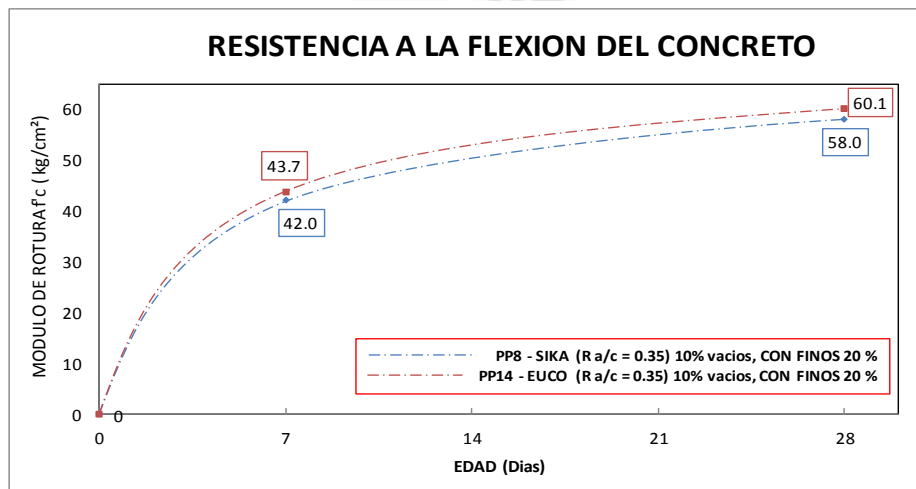


Fig. 5.38: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP8-S y PP14-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacios	% Vacios	MR= kg/cm <sup>2</sup>
PP9-S	7	10	13.6	44.6
	28	10	13.6	56.8
PP15-E	7	10	8.6	41.7
	28	10	8.6	58.0

Tabla 5.39: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP9-S y PP15-E.

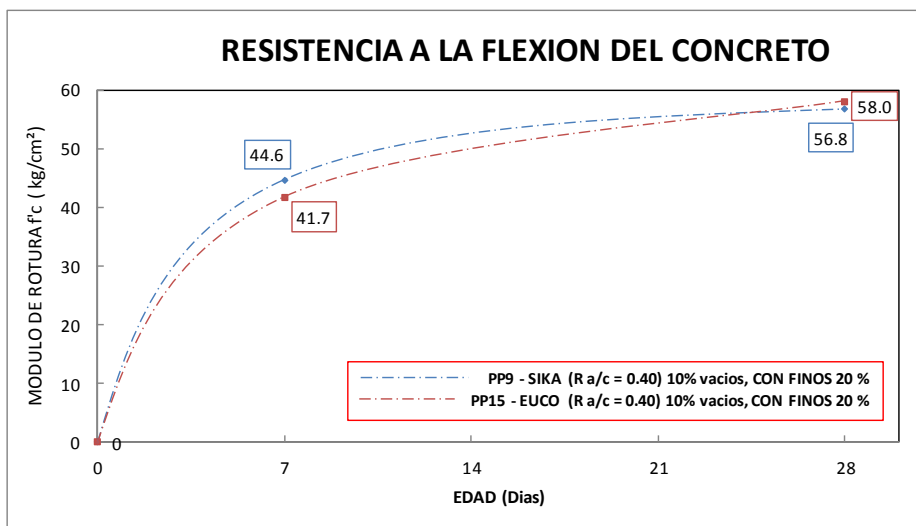


Fig. 5.39: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacios	% Vacios	MR= kg/cm <sup>2</sup>
PP10-S	7	10	13.6	30.8
	28	10	13.6	42.4
PP16-E	7	10	11.8	32.8
	28	10	11.8	43.2

Tabla 5.40: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP10-S y PP16-E.

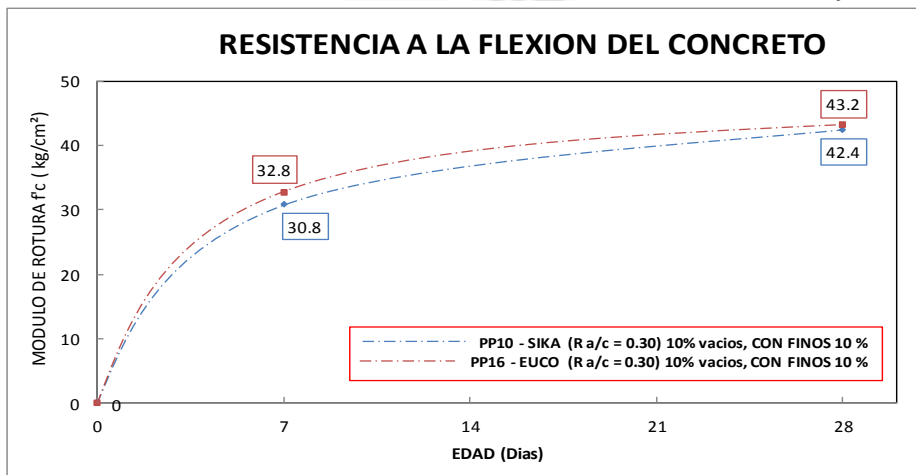


Fig. 5.40: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP10-S y PP16-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacios	% Vacios	MR= kg/cm2
PP11-S	7	10	11.5	37.1
	28	10	11.5	44.6
PP17-E	7	10	13.3	36.2
	28	10	13.3	45.8

Tabla 5.41: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP11-S y PP17-E.

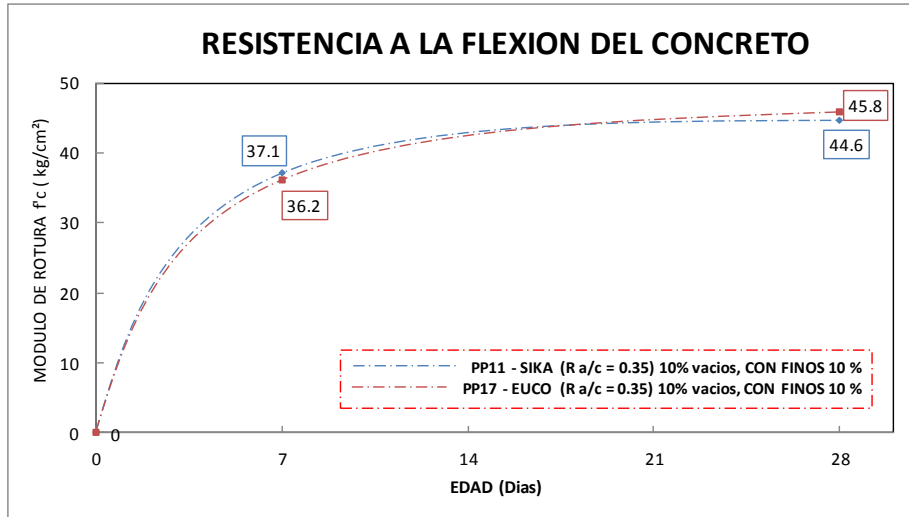


Fig. 5.41: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP11-S y PP17-E.

DISEÑO	Edad (días)	% Vacios	% Vacios	MR= kg/cm2
PP12-S	7	10	11.1	38.9
	28	10	11.1	46.9
PP18-E	7	10	12.6	36.9
	28	10	12.6	48.8

Tabla 5.42: Resultados de la Resistencia a la Flexión del concreto, diseño PP12-S y PP18-E.

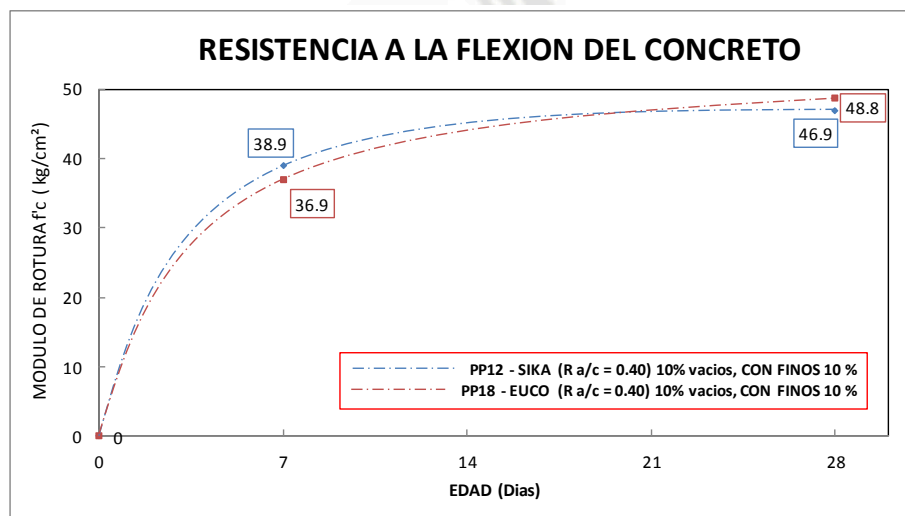


Fig. 5.42: Resultados de la Curva de crecimiento de la Resistencia a la Flexión, diseño PP12-S y PP18-E.

DISEÑO	PP7-S	PP8-S	PP9-S	PP10-S	PP11-S	PP12-S	PP13-E	PP14-E	PP15-E	PP16-E	PP17-E	PP18-E
7 Días f'c=(kg/cm2)	33.8	42.0	44.6	30.8	37.1	38.9	34.3	43.7	41.7	32.8	36.2	36.9
28 Días f'c=(kg/cm2)	43.8	58.0	56.8	42.4	44.6	46.9	43.3	60.1	58.0	43.2	45.8	48.8

Tabla 5.43: Resultados obtenidos de la Resistencia a la Flexión del Concreto.

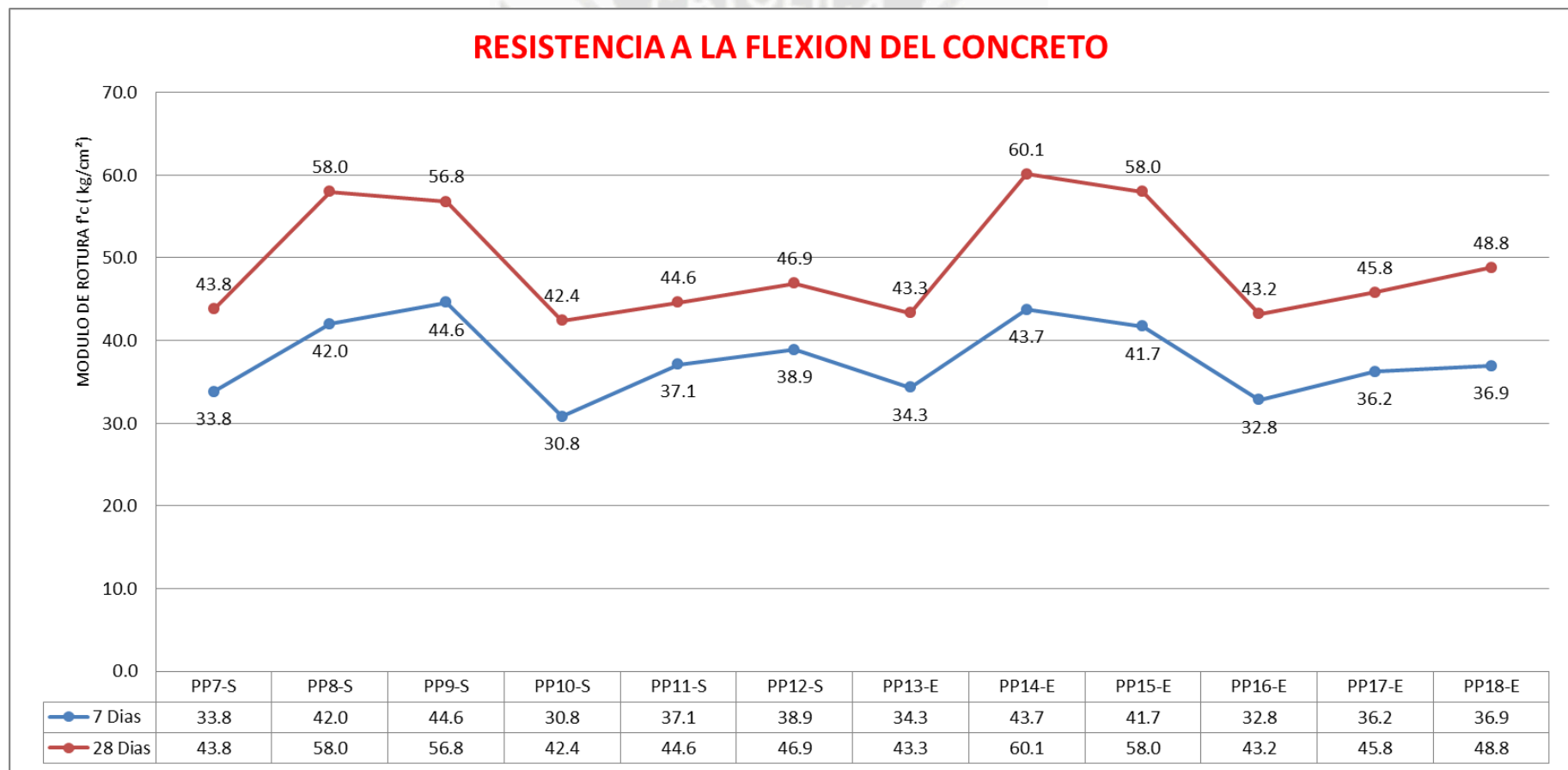


Fig. 5.43: Resultados obtenidos de la Resistencia a la Flexión del Concreto.

## 5.2.4 RESISTENCIA AL DESGASTE POR ABRASIÓN E IMPACTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

DISEÑOS	DESGASTE %
PP7-S	25.43
PP13-E	22.29

Tabla 5.44: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP7-S y PP13-E.

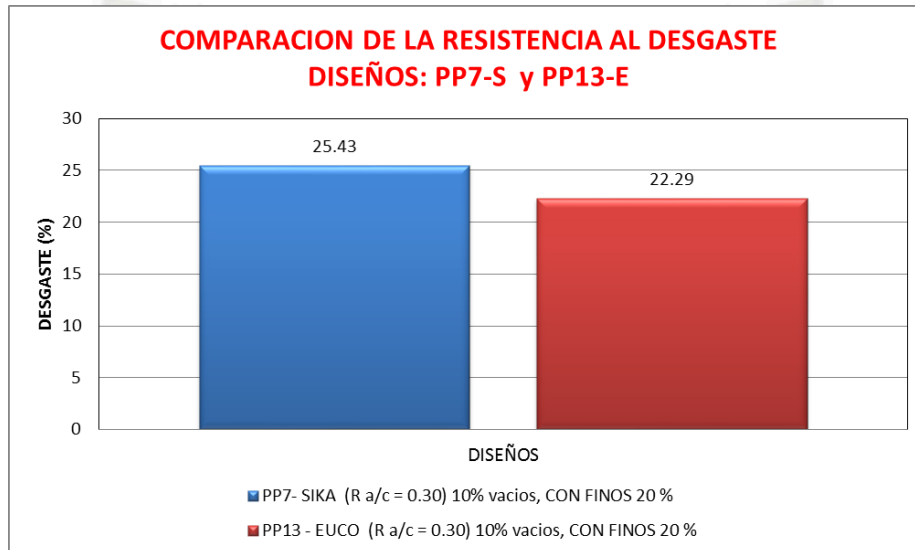


Fig. 5.44: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP7-S y PP13-E.

DISEÑOS	DESGASTE %
PP7-S	12.08
PP14-E	11.34

Tabla 5.45: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP8-S y PP14-E.

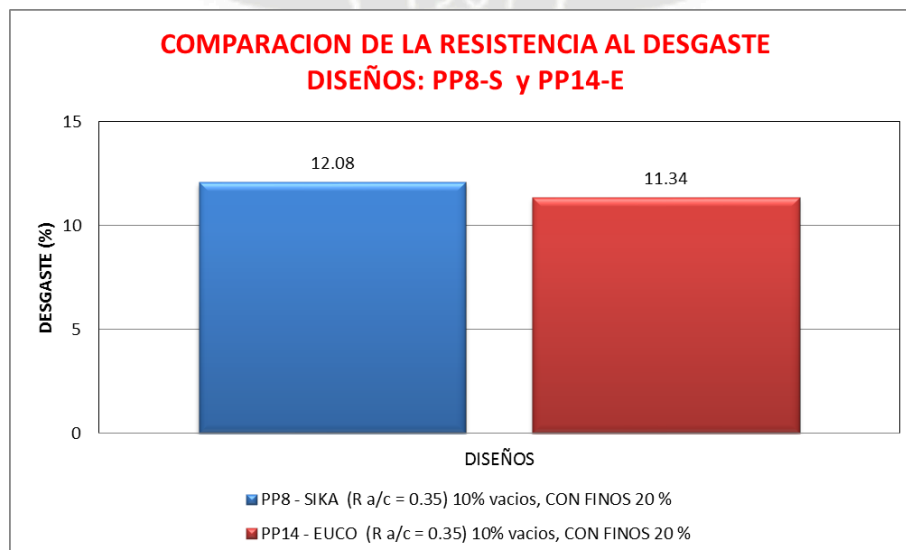


Fig. 5.45: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP8-S y PP14-E.

DISEÑOS	DESGASTE %
PP9-S	11.15
PP15-E	16.25

Tabla 5.46: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP9-S y PP15-E.

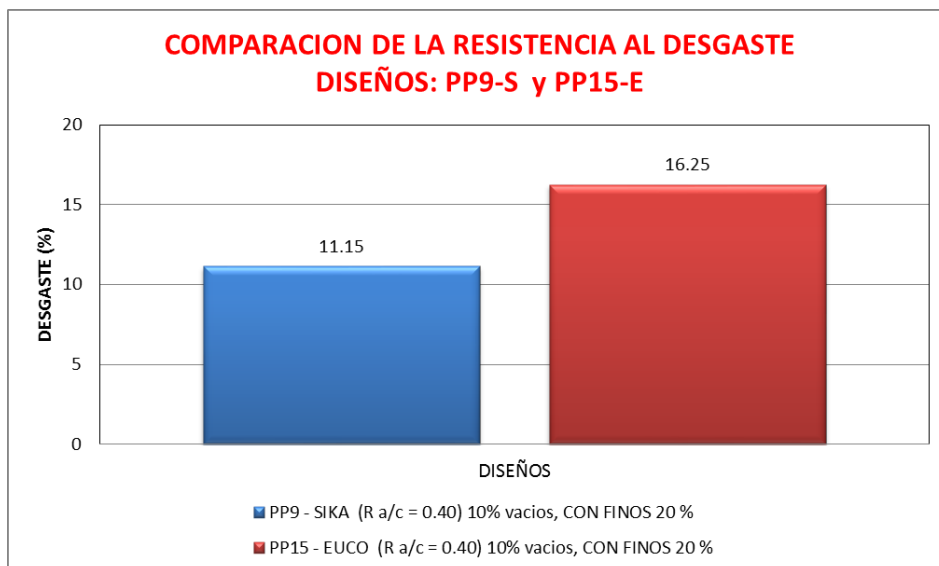


Fig. 5.46: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑOS	DESGASTE %
PP10-S	19.67
PP16-E	25.82

Tabla 5.47: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP10-S y PP16-E.

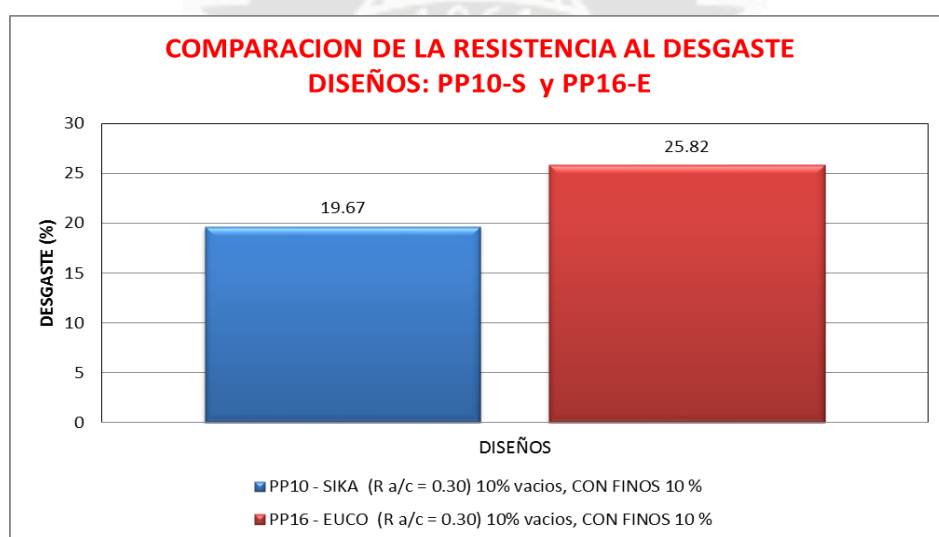


Fig. 5.47: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP10-S y PP16-E.

DISEÑOS	DESGASTE %
PP11-S	19.54
PP17-E	20.68

Tabla 5.48: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP9-S y PP15-E.

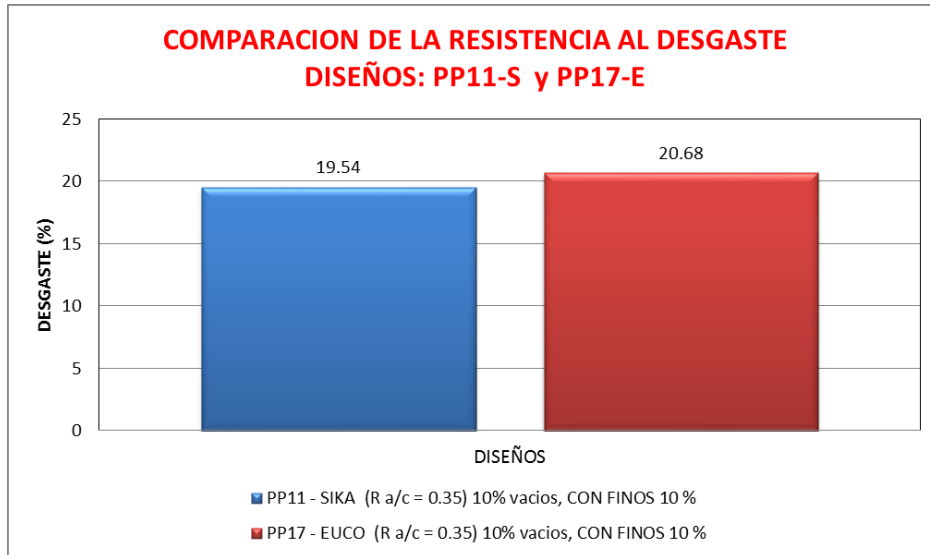


Fig. 5.48: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑOS	DESGASTE %
PP12-S	16.60
PP18-E	22.61

Tabla 5.49: Resultados comparativos obtenidos de la resistencia al desgaste, diseño PP10-S y PP16-E.

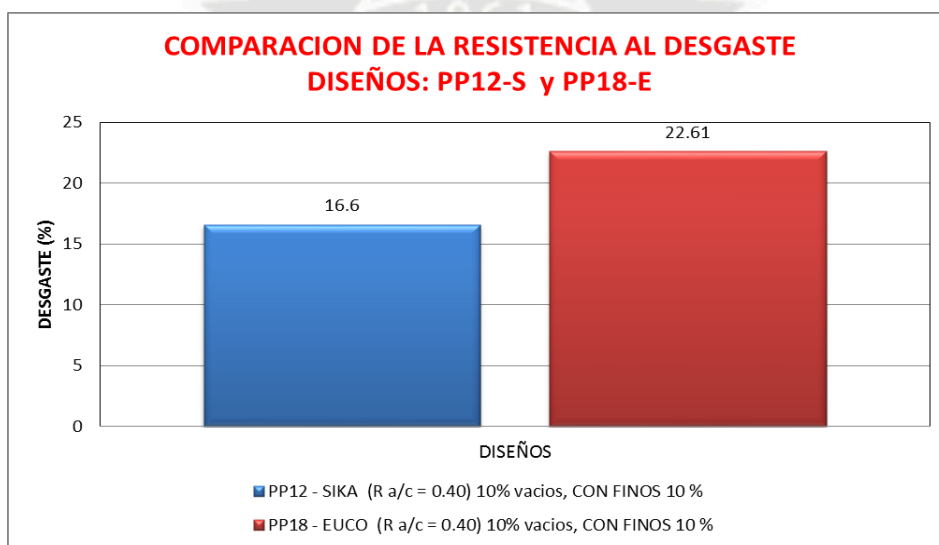


Fig. 5.49: Resultados de la comparación de la resistencia al desgaste, diseño PP10-S y PP16-E.

DISEÑO	PP7-S	PP8-S	PP9-S	PP10-S	PP11-S	PP12-S	PP13-E	PP14-E	PP15-E	PP16-E	PP17-E	PP18-E
DESGASTE %	25.43	12.08	11.15	19.67	19.54	16.6	22.29	11.34	16.25	25.82	20.68	22.61

Tabla 5.50: Resultados obtenidos de la resistencia al desgaste.

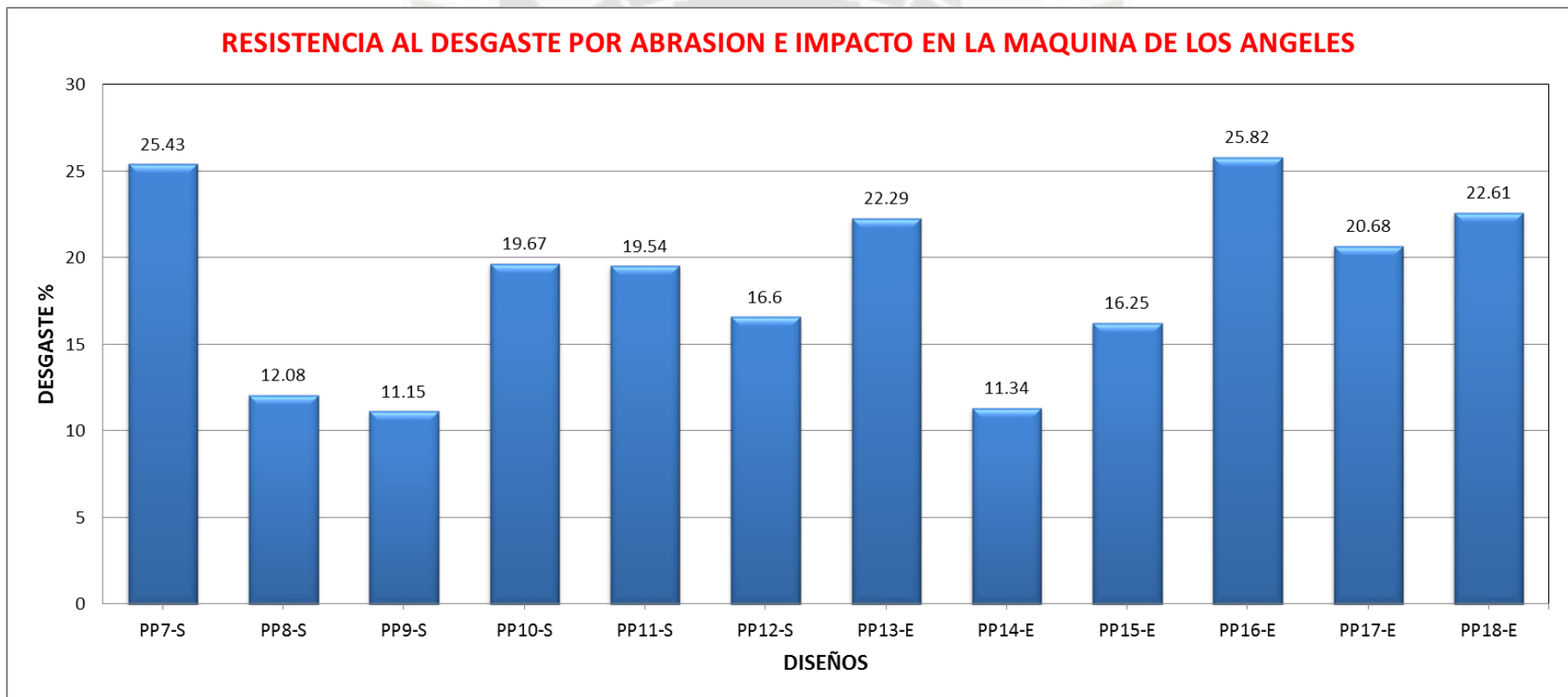


Fig. 5.50: Resultados obtenidos de la resistencia al desgaste por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles.

## 5.2.5 PERMEABILIDAD

DISEÑOS	Permeabilidad (mm/s)
PP7-S	2.87
PP13-E	3.91

Tabla 5.51: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP7-S y PP13-E.

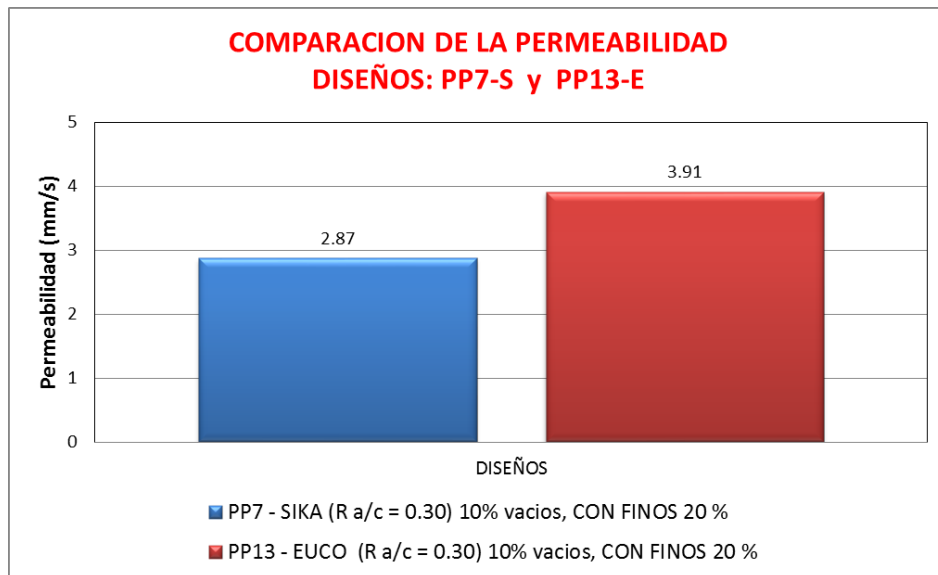


Fig. 5.51: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP7-S y PP13-E.

DISEÑOS	Permeabilidad (mm/s)
PP10-S	4.51
PP16-E	2.28

Tabla 5.52: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP10-S y PP16-E.

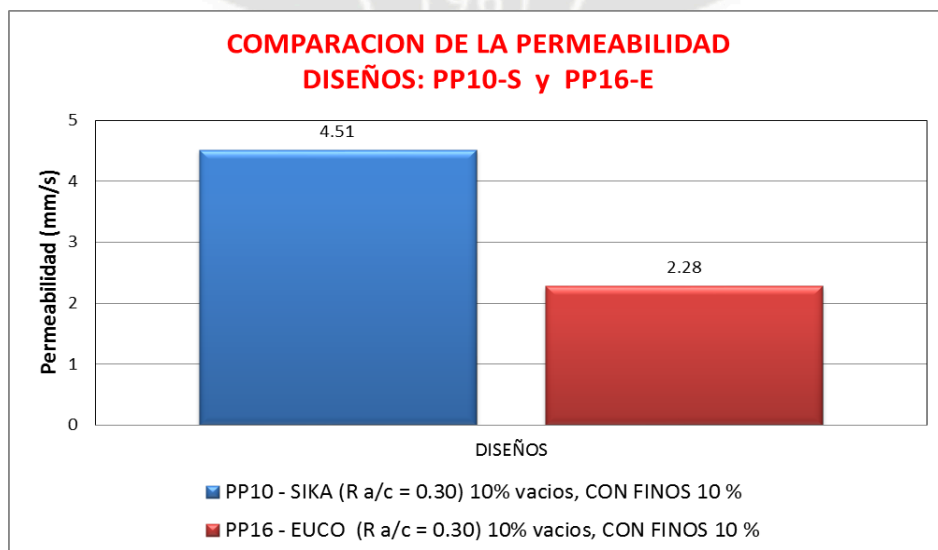


Fig. 5.52: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP10-S y PP16-E.

DISEÑOS	Permeabilidad (mm/s)
PP8-S	0.68
PP14-E	0.70

Tabla 5.53: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP8-S y PP14-E.

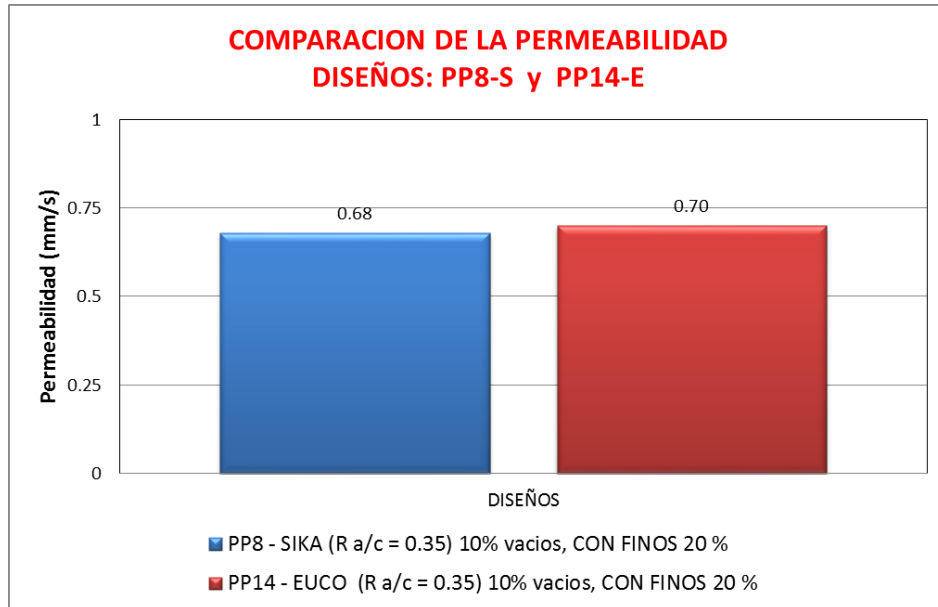


Fig. 5.53: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP8-S y PP14-E.

DISEÑOS	Permeabilidad (mm/s)
PP11-S	2.52
PP17-E	4.32

Tabla 5.54: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP11-S y PP17-E.

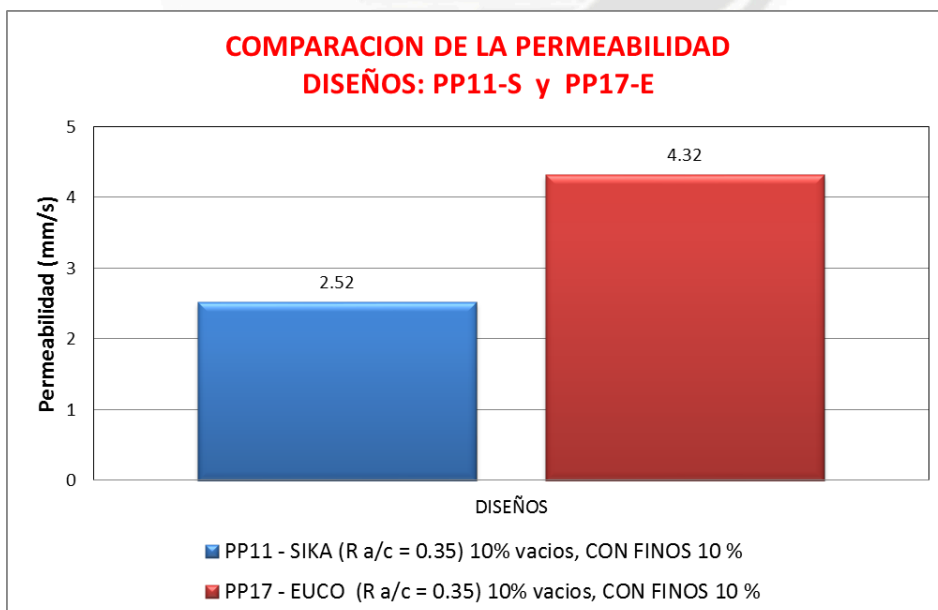


Fig. 5.54: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP11-S y PP17-E.

DISEÑOS	Permeabilidad (mm/s)
PP9-S	0.82
PP15-E	0.81

Tabla 5.55: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP9-S y PP15-E.

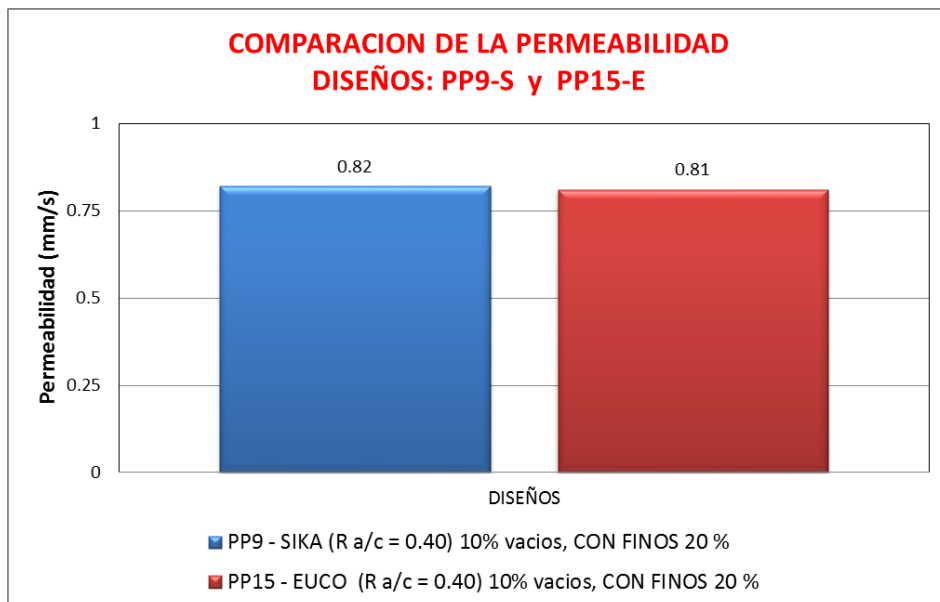


Fig. 5.55: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP9-S y PP15-E.

DISEÑOS	Permeabilidad (mm/s)
PP12-S	2.07
PP18-E	3.82

Tabla 5.56: Resultados comparativos obtenidos de la Permeabilidad, diseño PP12-S y PP18-E.

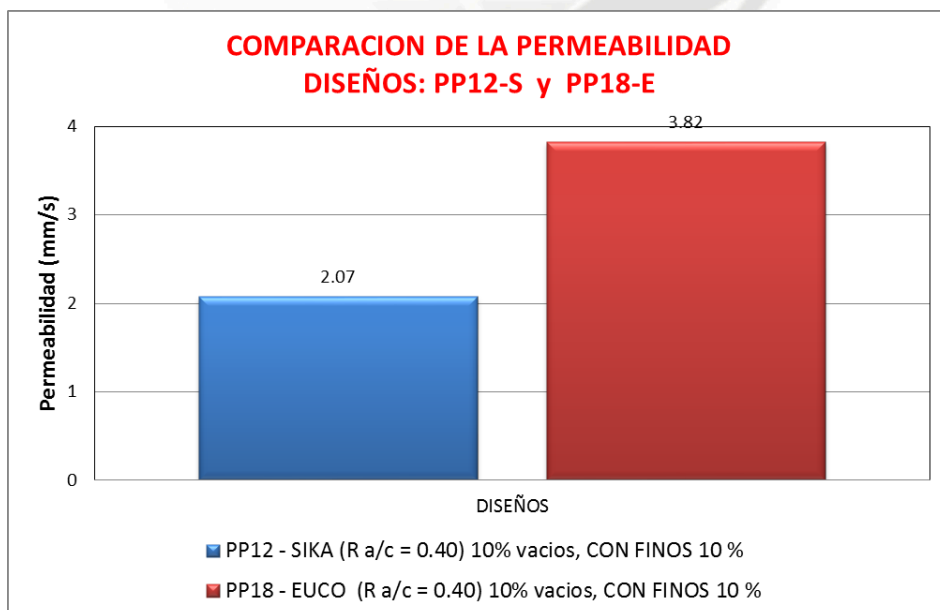


Fig. 5.56: Resultados de la comparación de la Permeabilidad, diseño PP12-S y PP18-E.

DISEÑO	PP7-S	PP8-S	PP9-S	PP10-S	PP11-S	PP12-S	PP13-E	PP14-E	PP15-E	PP16-E	PP17-E	PP18-E
Coefficiente de Permeabilidad (mm/s)	2.87	0.68	0.82	4.51	2.52	2.07	3.91	0.70	0.81	2.28	4.32	3.82

Tabla 5.57: Resultados obtenidos de la Permeabilidad.

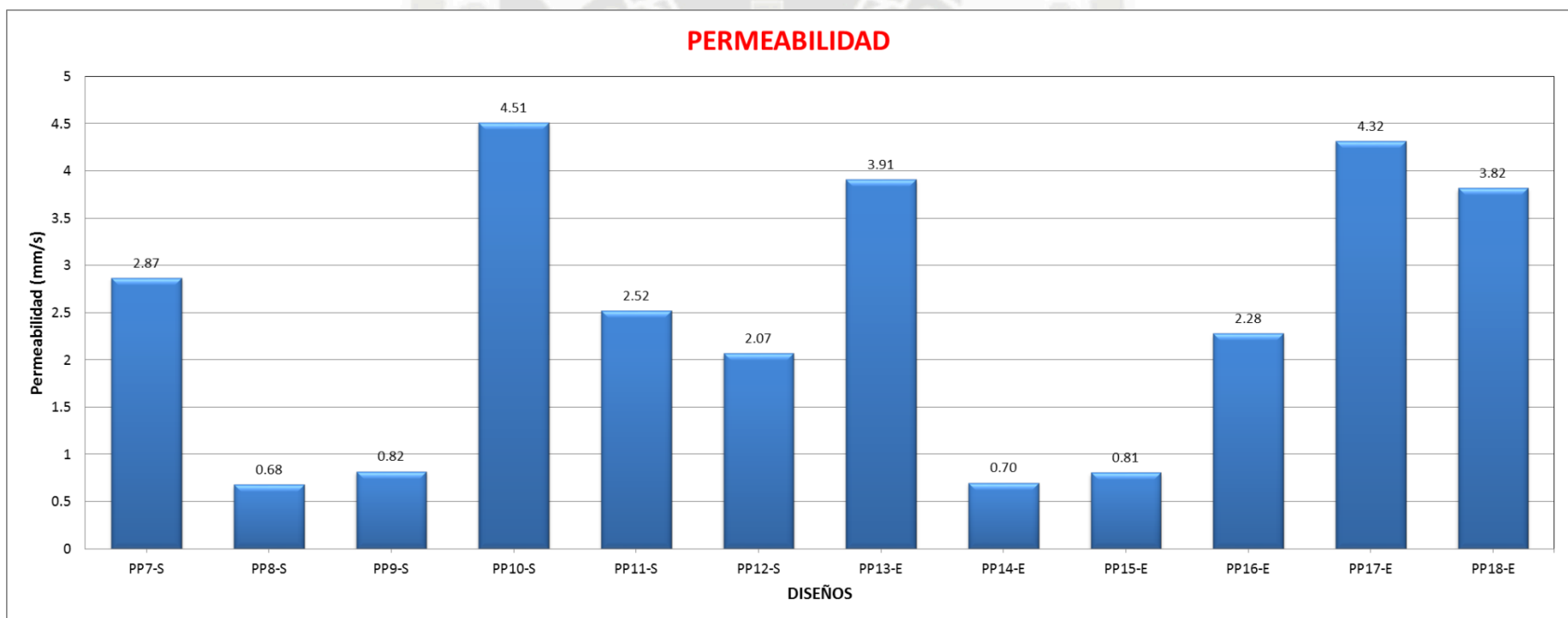


Fig. 5.57: Resultados obtenidos de la Permeabilidad.

### 5.3 CUADRO RESUMEN DE LOS ENSAYOS

CUADRO RESUMEN DE TODOS LOS ENSAYOS REALIZOS EN LA INVESTIGACION						
CARACTERISTICA DEL DISEÑO	EDAD (Días)	Resistencia a la Compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Tracción Indirecta (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia a la Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	Resistencia al Desgaste (%)	Permeabilidad (mm/s)
PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacios, SIN FINOS	7	66	-	-	-	-
	28	88	-	-	-	-
PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacios, SIN FINOS	7	64	-	-	-	-
	28	95	-	-	-	-
PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacios, SIN FINOS	7	64	-	-	-	-
	28	95	-	-	-	-
PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, SIN FINOS	7	55	-	-	-	-
	28	67	-	-	-	-
PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, SIN FINOS	7	111	-	-	-	-
	28	147	-	-	-	-
PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, SIN FINOS	7	104	-	-	-	-
	28	119	-	-	-	-
PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	7	150	35	33.8	-	-
	28	281	37	43.8	25.43	2.87
PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	7	437	44	42.0	-	-
	28	511	47	58.0	12.08	0.68
PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	7	437	45	44.6	-	-
	28	508	51	56.8	11.15	0.82
PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7	154	33	30.8	-	-
	28	258	41	42.4	19.67	4.51
PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7	156	33	37.1	-	-
	28	287	38	44.6	19.54	2.52
PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7	198	35	38.9	-	-
	28	304	37	46.9	16.60	2.07
PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20 %	7	181	32	34.3	-	-
	28	284	39	43.3	22.29	3.91
PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20 %	7	480	45	43.7	-	-
	28	557	48	60.1	11.34	0.70
PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20 %	7	413	41	41.7	-	-
	28	490	48	58.0	16.25	0.81
PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7	159	29	32.8	-	-
	28	276	32	43.2	25.82	2.28
PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7	220	35	36.2	-	-
	28	313	40	45.8	20.68	4.32
PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10 %	7	231	39	36.9	-	-
	28	334	49	48.8	22.61	3.82

Tabla 5.58: Cuadro Resumen de todos los Ensayos Realizados en la Investigación.

CUADRO RESUMEN - CALIFICACION DE LOS DISEÑOS SEGÚN SU CALIDAD					
CARACTERÍSTICA DEL DISEÑO	Resistencia a la Compresión	Resistencia a la Tracción Indirecta	Resistencia a la Flexión	Resistencia al Desgaste	Permeabilidad
PP1 - SIKA (R a/c = 0.30) 15% vacíos, SIN FINOS	1	NO SE REALIZARON ENSAYOS PARA LOS DISEÑOS SIN FINOS			
PP2 - SIKA (R a/c = 0.35) 15% vacíos, SIN FINOS	2				
PP3 - SIKA (R a/c = 0.40) 15% vacíos, SIN FINOS	2				
PP4 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, SIN FINOS	1				
PP5 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, SIN FINOS	3				
PP6 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, SIN FINOS	2				
PP7 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	2	2	2	1	2
PP8 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	3 (*)	3 (*)	3 (*)	3 (*)	1
PP9 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	3 (*)	3 (*)	3 (*)	3 (*)	1
PP10 - SIKA (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	1	3	2	3	3
PP11 - SIKA (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	2	2	3	3	2
PP12 - SIKA (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	3	2	3	3	2
PP13 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	2	3	2	2	3
PP14 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	3 (*)	3 (*)	3 (*)	3 (*)	1
PP15 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 20 %	3 (*)	3 (*)	3 (*)	3 (*)	1
PP16 - EUCO (R a/c = 0.30) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	2	1	2	1	2
PP17 - EUCO (R a/c = 0.35) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	3	3	3	2	3
PP18 - EUCO (R a/c = 0.40) 10% vacíos, CON FINOS 10 %	3	3	3	2	3

BUENO	3
REGULAR	2
MALO	1
(*) Diseño que se aumento cemento (450 kg) según Norma	

Tabla 5.59: Cuadro Resumen de Calificación de los diseños según su Calidad.

# ***CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE EN LOSA***

## **6.1 INTRODUCCIÓN**

Una vez que se ha determinado la mejor opción para hacer concreto permeable con los agregados que se trabajaron, se prosiguió a realizar la losa de concreto permeable con el diseño de mezcla elegido.

En el presente capítulo se detallara como se realizó la losa demostrativa de concreto permeable para lo cual se reconoció el suelo por medio de la prueba visual manual lo que según inspecciones se determinó el alto índice de plasticidad del suelo, no se hicieron pruebas de filtración y caracterización en el suelo debido a que la losa tan solo era de carácter demostrativo.

Las dimensiones de nuestra losa son de 2.5m<sup>2</sup>, en el proceso de realización de la losa de concreto permeable se llevaron a cabo una serie de actividades para los cuales se tomó en cuenta en cada uno de ellas el control de calidad de la ejecución, el empleo de materiales adecuados y el buen desarrollo de los procesos constructivos.

## **6.2 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR**

Nuestra losa de concreto permeable de carácter demostrativo se realizó en la ciudad de Arequipa, el distrito de Socabaya, Urb. La Campiña sector 4, en un terreno prestado que nos brindó la junta vecinal de dicho lugar.



Fig. 6.1: Ubicación del terreno.  
Fuente: Propia.

### 6.3 SELECCIÓN DE DIMENSIONES DE LOSA DEMOSTRATIVA

#### 6.3.1 REALIZACIÓN DE PRUEBA “DESCRIPCIÓN VISUAL – MANUAL DE LOS SUELOS” (ASTMD – 2488)

##### 6.3.1.1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas son tan antiguos como la misma mecánica de suelos, en un principio estos se basaban más que todo, en una descripción visual (olor, color, textura, etc.). La importancia que tiene identificar un suelo con fines ingenieriles consiste en conocer de manera cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas de éste, la cual nos brinda un clasificación considerable si se conoce como hacerlo. Se ha usado este método de clasificación debido a que solo es con fines demostrativos, de caracterización, y las dimensiones de la losa es pequeña y solo es con fines de mostrar como es el acabado de una losa de concreto permeable.



Fig. 6.2: Terreno para la realización de losa de prueba de concreto permeable.  
Fuente: Propia.

### 6.3.1.2 MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA CLASIFICACIÓN

- Muestra de suelo alterada, que se extrajo de la excavación del suelo.
- Probetas graduadas que se usan para la prueba de segregación de suelo por sedimentación.
- Placas de vidrio de 20 \* 20cm.
- Cuchillos y cucharones.

### 6.3.1.3 DATOS DE LA INSPECCIÓN VISUAL

El color aparente de una muestra en estado seco y húmedo, el ensayo permite determinar la presencia de organismos u otros elementos presentes en el suelo.

El color de los suelos es una característica que varía con el contenido de humedad. Por simple inspección visual del color de una muestra en estudio, se determina lo siguiente:

Nombre del ensayo	Parametro	Simbolo	Identificación
COLOR	café oscuro a negro	ON	Suelo con alto contenido organico
	Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de oxido de hierro, combinaciones quimicas de hierro
	Amarillo a café amarillento	AC	Contenido de hierro o hierro hidratado
	Blanco	B	Contenido de silice, limo, compuesto de aluminio

Resultado: Blanco

Tabla 6.1: Ensayo de color.  
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488.

#### 6.3.1.4 ENSAYO DE SACUDIMIENTO:

Este ensayo es útil para la identificación de suelo de grano fino.

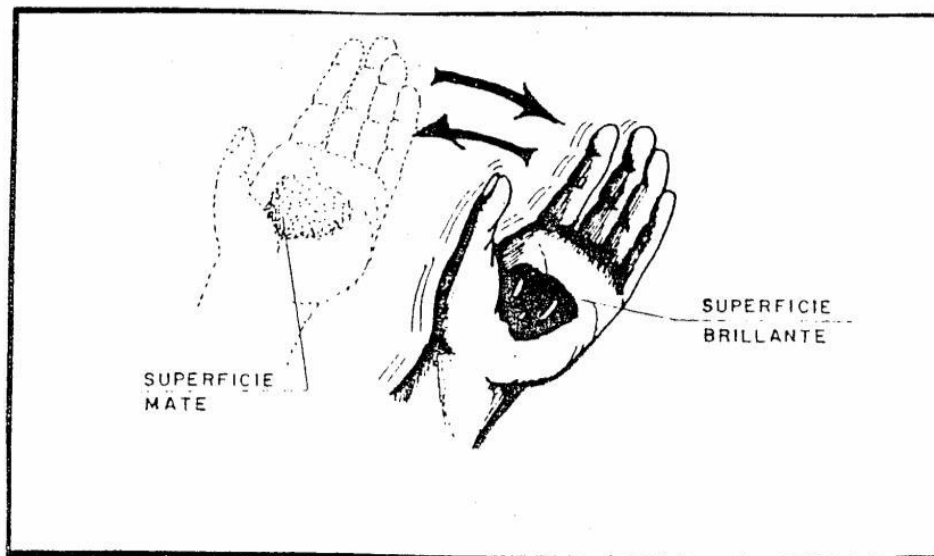


Fig. 6.3: Sacudimiento de muestra húmeda.  
Fuente: A.S.T.M.D – 2488.

Habrá que distinguir los tres tipos de reacción que puede presentar un suelo así:

- Rápida: indica falta de plasticidad, por ejemplo limos orgánicos, polvo, roca, arena fina.
- Lenta: Limos arcillas ligeramente plásticas.

- Sin reacción: indica arcillas plásticas o material orgánico.

Nombre del ensayo	Parametro	Simbolo	Identificación
<b>SACUDIMIENTO</b>	Reacción rapida	RR	Suelo con alto contenido organico
	Reacción lenta	RL	Contenido de oxido de hierro, combinaciones quimicas de hierro
	No reacciona	NR	Contenido de hierro o hierro hidratado

Resultado: Reacción lenta

Tabla 6.2: Ensayo de sacudimiento.  
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488.

### 6.3.1.5 ENSAYO DE ROTURA:

Se usa para determinar la resistencia en seco de un suelo y es una medida de la cohesión (adherencia entre las partículas).

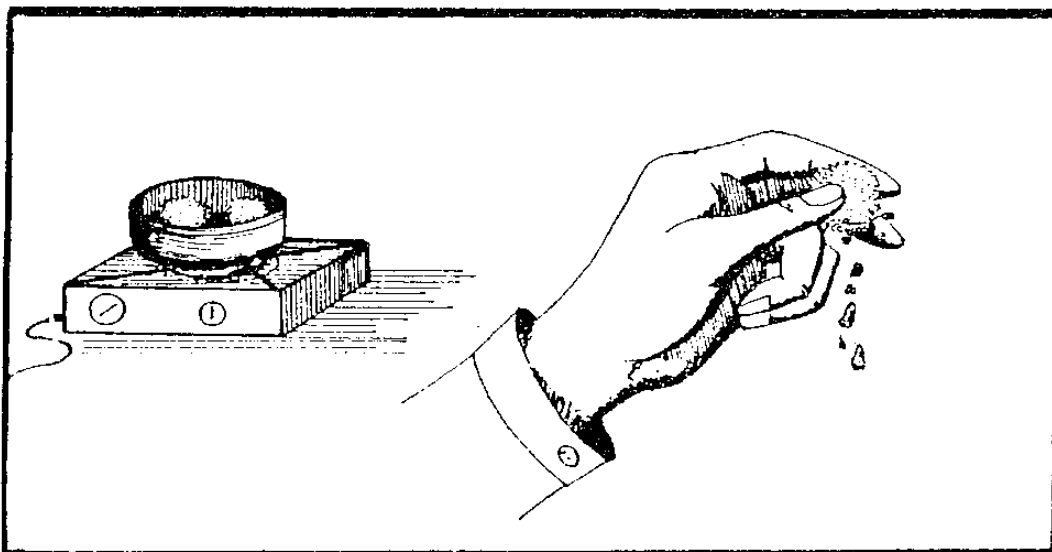


Fig. 6.4: Ensayo de rotura.  
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488.

Se deberá distinguir algún tipo de resistencia como la siguiente:

- Ligera: indica la presencia de limo inorgánico, polvo de roca o arena limosa.
- Media: denota una arcilla inorgánica de plasticidad media a baja.

- Alta: indica una arcilla inorgánica altamente plástica, se puede romper la muestra pero no pulverizarse.

Nombre del ensayo	Parametro	Simbolo	Identificación
ROTURA	Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena limosa.
	Media	M	Contenido de oxido de hierro, combinaciones quimicas de hierro
	Alta	A	Contenido de hierro o hierro hidratado

Resultado: Alta

Tabla 6.3: Ensayo de rotura.  
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488

### 6.3.1.6 ENSAYO DE PLASTICIDAD:

Se realiza para suelos arcillosos, para determinar la capacidad de ser moldeado bajo un contenido de agua adecuado.

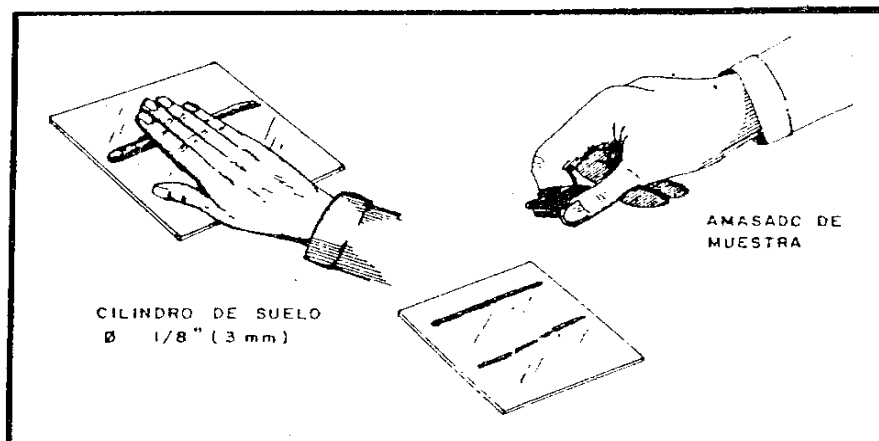


Fig. 6.5: Ensayo de plasticidad.  
Fuente: A.S.T.M.D – 2488.

Nombre del ensayo	Parametro	Simbolo	Identificación
<b>PLASTICIDAD</b>	Cilindro tenaz	CT	Arcilla de gran plasticidad
	Cilindro de moderada plasticidad	CM	Suelo de plasticidad media
	Cilindro debil	CD	Suelo de baja plasticidad

Resultado: Cilindro Tenaz

Tabla 6.4: Ensayo de plasticidad.  
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488

### 6.3.1.7 ENSAYO DE BRILLO:

Se aplica a suelos cohesivos, con el objeto de conocer el grado de plasticidad de un suelo.

- Si es brillante, indica una arcilla muy plástica.
- Si es mate, indica que es un limo o una arcilla de baja plasticidad.

Nombre del ensayo	Parametro	Simbolo	Identificación
<b>BRILLO</b>	Superficie brillante	SB	Arcilla muy plastica
	Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad

Resultado: Superficie brillante

Tabla 6.5: Ensayo de brillo.  
Fuente: A.S.T.M.D. – 2488

## 6.3.2 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA DEMOSTRATIVA.

### 6.3.2.1 SELECCIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO

El pavimento permeable se puede usar tanto para tráfico vehicular como peatonal. También se le puede usar para pavimentar algunas calles, para cavidades de árboles e incluso parapetos cercanos al océano. Los pavimentos permeables también se usan para recolectar y redirigir agua pluvial a tanques de retención para su posterior uso en irrigación.

Debido a la naturaleza abierta de la matriz, la resistencia de compresión obtenible es menor de la que normalmente se esperaría de una proporción agua-cemento como esta. La resistencia a la compresión de los pavimentos de concreto permeable adecuadamente colocados puede estar en el rango de 3.5 a 28 MPa (35 a 280 kg/cm<sup>2</sup>), lo cual es adecuado para la mayoría de las aplicaciones de bajo volumen, incluyendo las cargas de eje largo como los camiones de basura y los vehículos de emergencia tales como los camiones de bomberos.

Típicamente, el concreto permeable de 150 mm de grosor proporciona resistencia adecuada para playas de estacionamiento y caminos de entradas residenciales; los pavimentos con un grosor de 200 a 250 mm son apropiados para calles de bajo volumen y caminos de entradas comerciales.

Los pavimentos permeables no deberían usarse para calles de alto volumen o pavimentos que esperan tráfico pesado de camiones. El grosor máximo del pavimento que puede colocarse y compactarse adecuadamente se encuentra en el orden de los 250-300 mm.

Para tráfico pesado se pueden diseñar pavimentos de concreto permeable utilizando ya sea un procedimiento de pavimento estándar (ejemplo, AASHTO, ACI 325.9R, o ACI 330R) o utilizando números estructurales derivados de un procedimiento flexible de diseño de pavimentos (Tennis y al, 2005).

Sin reparar en el procedimiento utilizado, se deben tomar en consideración las pautas para las propiedades del subsuelo, las características de los materiales del concreto permeable y las cargas de tráfico. Se sugiere que el módulo para la reacción del subsuelo,  $k$ , del suelo de soporte no debería exceder 54 MPa/m y con frecuencia los valores de 40 a 48 MPa se usan para propósitos de diseño (Tennis y al, 2005). Se encuentran disponibles programas de software para el diseño estructural de pavimentos de concreto permeable (Streetpave desarrollado por la Asociación de cemento pórtland, Concrete Pavement Analyst (CPA), de NRMCA).

### **6.3.2.2 PREDIMECIONAMIENTO**

Largo: 2.5m

Ancho: 2.5m.

Para conocer el espesor de la capa de sub-base recurrimos al ACI 522 R en el apéndice 7 en el cual nos dice que debe de colocarse 6in 12in (150- 30mm) de material granular con un 10% de limo o arcilla para generar cohesión. La sub-base no debe ser molestada, barro, saturado, o congelados, cuando comienza la colocación. La los suelos de sub rasante debe ser humedecido antes de la colocación del concreto. Si no se proporciona una sub base húmeda se traducirá en una reducción en la resistencia del pavimento y puede conducir a un fracaso prematuro del pavimento. Para garantizar la uniformidad de compactación, los surcos de las ruedas deben ser rastrilladas y compactada antes de la colocación de las concretas operaciones. Si las propiedades del suelo sub rasante exigir que una cama recarga agregado debe incorporarse al drenaje diseño del sitio, debe ser colocado en el preparado sub-base, compactada y recortada a la altura adecuada En cuanto al espesor del pavimento nos basamos en el apéndice 2 en el cual nos habla acerca de las vías de acceso de pavimentos de concreto permeable y nos dice que el rango práctico de diseño para espesores concreto permeable es de 6 a 10 pulgadas (150 a 250 mm) para pavimentos lisos.

### 6.3.2.3 CÁLCULO DE MATERIALES

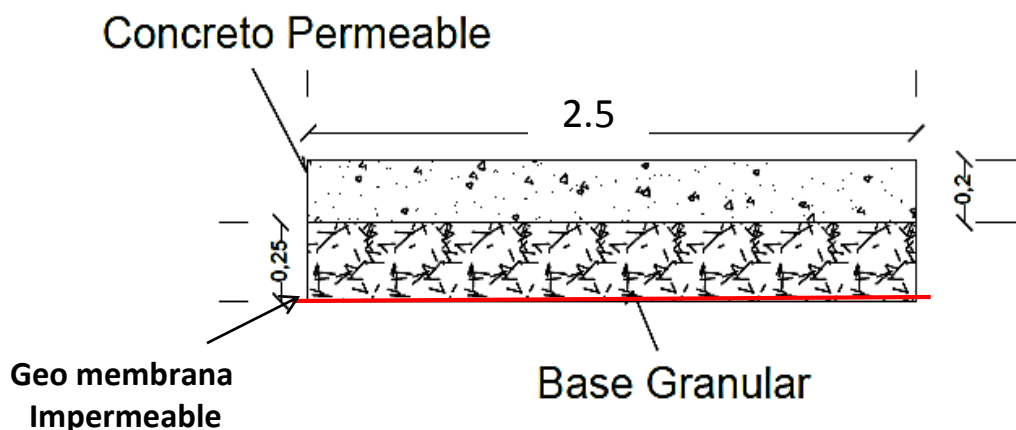


Fig. 6.6: Corte de perfil.  
Fuente: Propia.

- Base Granular

L=largo x ancho x espesor

$$L= 2.5 \times 2.5 \times 0.25$$

$$L= 1.56 \text{ m}^3$$

- Concreto permeable

L=largo x ancho x espesor

$$L= 2.5 \times 2.5 \times 0.2$$

$$L= 1.25 \text{ m}^3$$

Según el diseño de mezcla para un 10% de vacíos y de la cantera la Poderosa se usara la siguiente cantidad de materiales de nuestro diseño PP18-E:

<b>CEMENTO IP=</b>	362.39	kg/m <sup>3</sup>
<b>PIEDRA 3/4=</b>	1599.73	kg/m <sup>3</sup>
<b>ARENA=</b>	177.75	kg/m <sup>3</sup>
<b>AGUA=</b>	144.96	kg/m <sup>3</sup>
<b>ADITIVO - EUCO=</b>	0.91	kg/m <sup>3</sup>

**TABLA 6.6: Diseño de mezcla usado.**  
Fuente: Propia.

## 6.4 MATERIALES Y EQUIPOS

- **CEMENTO:** El cemento que se usara será el mismo que hemos usado para la experimentación y elaboración de los 18 diseños de mezclas y es el cemento Yura IP.
- **AGUA:** El agua es la proporcionada por la empresa Sedapar S.A. de la ciudad de Arequipa.

- **AGREGADOS:** Se usó piedra huso 67, piedra chancada de 1 ½ plg. y arena fina todo de la cantera la Poderosa.
- **EQUIPO Y HERRAMIENTAS:** Balanza, tablas para encofrado, palas, pico, baldes, trompo de 1 bolsa de capacidad, estacas, wincha, apisonador manual, carretilla.
- **GEO MEMBRANA IMPERMEABLE.**

## **6.5 CONCEPTOS BÁSICOS**

- **LOSA:** cubierta plana, que cubre y cierra una casa en su parte superior y que queda bastante resistente como para andar sobre ella.

Las losas son elementos estructurales cuyas dimensiones en planta son relativamente grandes comparadas con su espesor. Una losa no es más que una placa apoyada en un conjunto de vigas, muros o líneas resistentes subdividida en tableros.

- **CONCRETO PERMEABLE:** Se encuentra dentro del espectro de los materiales ecológicos, ya que permite la filtración del agua al subsuelo logrando así la restauración de los mantos acuíferos. El material es sumamente durable, no degradable e increíblemente resistente manteniendo sus características de permeabilidad.

## **6.6 DESCRIPCIÓN DE PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA LOSA DEMOSTRATIVA**

### **6.6.1 PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS, MATERIALES, LIMPIEZA Y DESMONTE DEL LUGAR.**

Se consideró como labores iniciales a las actividades de preparación de herramientas, limpieza y desmonte. Se preparó el conjunto de herramientas para la preparación del concreto y de la misma forma se llevó a cabo la limpieza y el desmonte en toda el área del terreno. Se utilizaran herramientas convencionales

para las actividades antes mencionadas, así como palas, picos, carretilla y demás, ya que nuestro tramo a analizar es pequeño y no se requiere de equipo pesado.

### 6.6.2 TRAZO POR UNIDAD DE ÁREA

Se realizó el trazo de acuerdo a las medidas de nuestra losa la cual fue de 2.5m<sup>2</sup> con las medidas y niveles ya considerados necesarios para plantear ejes y niveles establecidos por los tesisistas.



Fig. 6.7: Trazo de terreno.  
Fuente: Propia.

### 6.6.3 EXCAVACIÓN

El trabajo consistía en excavar toda el área en el cual se hará la losa, las labores de terracería se hicieron con herramientas manuales como pala y pico, el suelo extraído se cargará a una carretilla manual y se transportará dicho material a un lugar especificado.

Se excavo un espesor de 45cm en un área de dos y medio metros cuadrados.



Fig. 6.8: Excavación de terreno.  
Fuente: Propia.



Fig. 6.9: Encofrado de terreno.  
Fuente: Propia.

#### 6.6.4 RELLENO CON MATERIAL GRANULAR

Tal como lo dice la Norma ACI 522 R la sub base fue conformada por una capa granular con un espesor de 25 cm cuyo tamaño nominal de la grava fue de 1.5 pulgadas.

Se procedió a colocar la geo membrana antes de la sub base.

La sub base granular fue esparcida por todo lo largo del terreno excavado y una vez estando esparcida fue ligeramente compactada con pisón manual para lograr un buen acomodamiento en las partículas; (Nota: En vista de que sus dimensiones eran pequeñas y no se poseía el equipo vibratorio para acomodar

las partículas de grava se optó por hacer apisonamiento y agregar material arenoso).

Seguidamente de la sub-base granular fue humedecida para que el concreto no perdiese humedad en el momento de ser colocado en el sitio. Al mismo tiempo la sub base desempeña el papel de reservorio de agua mientras el suelo ejerce la filtración.



Fig. 6.10: Relleno con material granular.  
Fuente: Propia.

### 6.6.5 ELABORACIÓN Y VACIADO DEL CONCRETO

El Concreto se elaboró en una mezcladora de concreto de una capacidad de 1 pie cubico, tal mezcladora fue colocada muy cerca del lugar de vaciado para evitar el traslado del concreto.

El concreto se elaboró con las proporciones ya antes mencionadas, optando por el diseño PP18-E de mezcla que obtuvo mayor resistencia tanto a compresión como a flexión en las pruebas hechas en laboratorio.



Fig. 6.11: Vaciado de la losa.  
Fuente: Propia.

### 6.6.6 CURADO DE CONCRETO

Según la Norma, en el curado de concreto permeable se le puede adicionar un curador químico en la superficie y seguidamente colocar una capa de polipropileno para evitar la pérdida de humedad, en nuestro caso por ser una losa de prueba y por ausencia de recursos se le colocaron bolsas húmedas de concreto sobre la superficie de la losa y se procedió a curar durante 4 días y regando con agua hasta 4 veces por día.



Fig. 6.12: Curado de la losa.  
Fuente: Propia.

## **6.7 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA MEDIR LA TASA DE INFILTRACIÓN EN EL LUGAR DEL CONCRETO PERMEABLE (NORMA ASTM C 1701 -09)**

### **6.7.1 ALCANCE**

Este método experimental cubre la determinación del campo de la tasa de infiltración que tiene en lugar del concreto permeable.

Los valores indicados en cualquier unidad del SI o las unidades lb-in, debe de ser considerado como estándar. Los valores en cada sistema pueden no ser exactamente equivalentes; por consiguiente, cada sistema será usado independientemente del otro. Combinándose los valores de los dos sistemas pueden resultar en la conformidad de la Norma.

### **6.7.2 RESUMEN DE ENSAYO**

Un anillo de infiltración es sellado temporalmente a la superficie de un pavimento permeable. Después de la pre-humectación en la ubicación de prueba, se introduce en el anillo un determinado volumen de agua y se registra el tiempo que tarda en infiltrarse en el pavimento. La tasa infiltración se calcula con una fórmula que más adelante se explica según norma.

### **6.7.3 SIGNIFICADO Y USO**

a) La tasa de infiltración obtenida por este método es válido sólo para el área localizada del pavimento, donde la prueba es llevado a cabo. Para determinar la tasa de infiltración de todos los lugares permeables del pavimento debe ser probado y los resultados promediados.

b) La tasa de infiltración del campo se establece normalmente por el ingeniero de diseño de registro y es una función del diseño y la precipitación evento.

c) Este método de prueba no mide la influencia en lugar de la tasa de infiltración debido al sellado de los huecos en la parte inferior de la losa de concreto permeable. La inspección visual del hormigón núcleos es el mejor método para determinar el sellado de los huecos cerca de la parte inferior de la losa de concreto permeable.

#### 6.7.4 INSTRUMENTOS

a) Anillo de Infiltración: Un anillo cilíndrico, abierto en ambos extremos (Fig. 6.13), el anillo será lo suficientemente rígido para mantener su forma cuando se llena de agua, y tendrá un diámetro de  $300 \pm 10$  mm ( $12 \pm 0,5$  pulgadas) con una altura mínima de 50 mm (2.0 pulgadas). El borde inferior del anillo será así. La superficie interior del anillo se marca con dos líneas a una distancia de 10 y 15 mm (0,40 y 0,60 pulgadas) de la parte inferior del anillo, con una precisión de 1 mm [0,05 pulgadas)

NOTA: El Material del anillo que son recomendados incluye acero, aluminio, plástico rígido, y PVC.

b) Balanza: Una balanza o báscula precisión de 10 g (0.02 lb).

c) Contenedor: Un recipiente cilíndrico típicamente de plástico con un volumen de 20 L (5 galones), de la que pueda ser fácilmente vertida con una velocidad controlada en el anillo de infiltración.

d) Cronometro: Con precisión de 0.1s

e) Masilla para Fontanería (Que no se endurezca).

f) Agua: Agua Potable

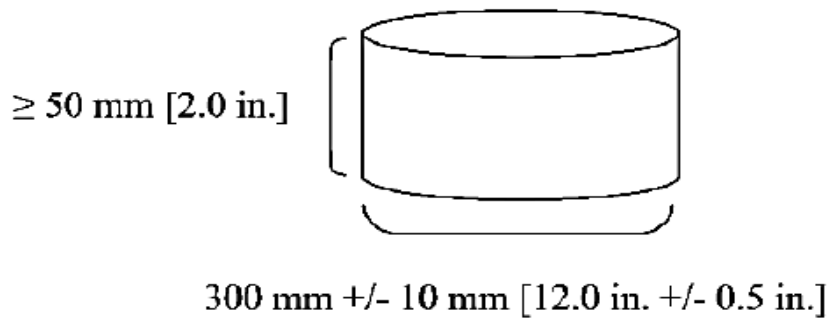


Fig. 6.13: Esquema de dimensiones del anillo de infiltración.  
Fuente: ASTM.



Fig. 6.14: Limite interior del anillo de infiltración.  
Fuente: Propia.

### 6.7.5 UBICACIÓN DE LA PRUEBA

Para realizar pruebas en varias ubicaciones de la losa, haga lo siguiente para determinar el número de pruebas para llevar a cabo:

- a) Tres puntos de prueba para superficies de hasta 2.500 m<sup>2</sup> (25.000 ft<sup>2</sup>).
- b) Añadir una prueba de ubicación por cada 1.000 m<sup>2</sup> (10.000 ft<sup>2</sup>) o fracción.
- c) Proporcionar al menos 1 m (3 pies) de distancia libre entre la prueba lugares, a menos que al menos 24 horas han transcurrido entre las pruebas.

d) No comprobar si hay agua en la parte superior del concreto permeable. No realice la prueba dentro de las 24 h de la precipitación pasada.

### 6.7.6 PROCEDIMIENTO

a) Instalación del Anillo de Infiltración:

Limpie la superficie del pavimento utilizando una escoba.

Retirar los escombros y otros materiales si lo hubiera.

Aplique masilla alrededor del borde inferior del anillo y colocar el anillo en la superficie de concreto permeable a prueba.

Pulse la masilla en la superficie y alrededor de la parte inferior borde del anillo para crear un sello hermético.



Fig. 6.15: Instalación del anillo de infiltración.  
Fuente: Propia.

b) Pre Humectación: Vierta agua en el anillo a un ritmo suficiente para mantener la cabeza entre las dos líneas marcadas. Use un total de 3,60 +/-,05 kg [8,0 +/-,1 libras] de agua.



Fig. 6.16: Pre - humectación.  
Fuente: Propia.

c) Prueba: La prueba se iniciará dentro de dos minutos después de la finalización de la pre-humectación. Si el tiempo transcurrido en la pre-humectación es inferior a 30 s, a continuación, utilizar un total de 18,00 +/- 0.05 kg (40.0 +/- .1 libras) de agua. Si el tiempo transcurrido en la etapa pre humectación es mayor o igual a 30 s, a continuación, utilizar un total de 3,60 +/- ,05 kg (8,0 +/- ,1 libras) de agua. Registrar el peso de agua con una precisión de 10 g (0.02 lb) (**M**). Vierta el agua en el anillo a una velocidad suficiente para mantener la cabeza entre los dos líneas marcadas y hasta que la cantidad medida de agua ha sido utilizados.

Empezar a cronometrar tan pronto como el agua afecta a la superficie permeable del concreto. Detener el cronómetro cuando el agua se haya infiltrado totalmente en la superficie permeable. Registrar la duración de la prueba (**t**) con una precisión de 0,1 s.

NOTA: Si el pavimento cuenta con pendiente, mantener la cabeza entre las dos líneas marcadas en el punto más bajo de la pendiente.



Fig. 6.17: Prueba de infiltración.  
Fuente: Propia.

d) Si la prueba se repite en el mismo lugar, la repetición de la prueba no requiere pre-mojado si se realiza dentro de los 5 minutos después de la finalización de la primera prueba. Si más de una prueba se lleva a cabo en un lugar en un día determinado, la tasa de infiltración en ese lugar en ese día se calcula como el promedio de las dos pruebas. No repetir esta prueba más de dos veces en el mismo lugar en un día determinado.

### 6.7.7 CÁLCULO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN

Calcular la tasa de infiltración (**I**) haciendo uso de unidades consistentes de la siguiente manera:

$$I = \frac{K * M}{(D^2 * t)}$$

Dónde: I = tasa de infiltración, mm / h (in/ h)

M = masa de agua infiltrada, kg (libras)

D = Diámetro interior del anillo de infiltración, mm (pulgadas)

t = tiempo que demora para medir la cantidad de agua que se infiltra en el concreto permeable, s.

K = 4 583 666 000 en unidades del SI o 870 126 en (pulgadas-libras) unidades.

NOTA: El factor K tiene unidades de ((mm<sup>3</sup>s) / (kg.h)) o [(in.<sup>3</sup>s) / (lb.h)], para convertir los datos registrados (M, D y t) a la tasa de infiltración que mm / h [cm / h].

$$I = \frac{4583666000 * 18}{(300^2 * 37)}$$

$$I = 24776.57 \text{ mm/h}$$

$$I = 6.88 \text{ cm/s}$$

### 6.3 MANTENIMIENTO

Existen dos métodos comunes aceptados:

- El lavado a presión con agua.
- Aspirado de potencia.

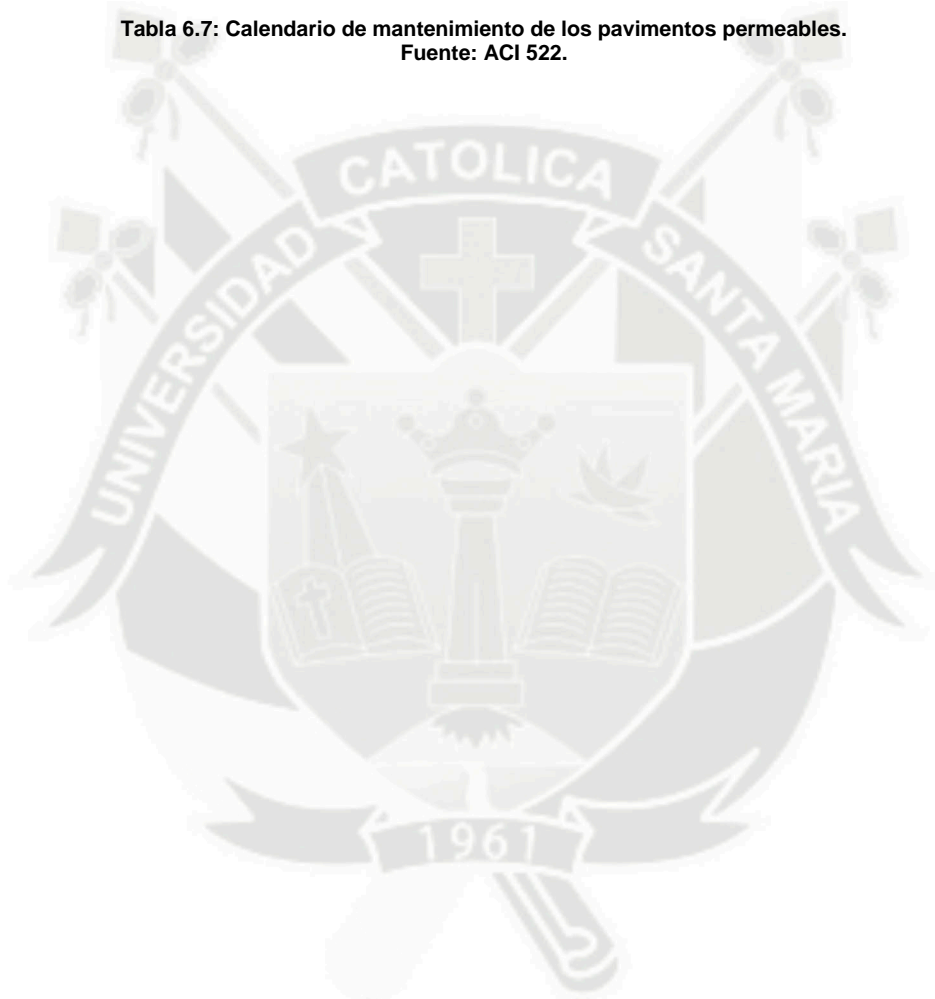
El lavado a presión con agua fuerza a los contaminantes hacia abajo a través de la superficie del pavimento. Esto es efectivo, pero se debe tener cuidado de no usar demasiada presión, ya que esto puede dañar el concreto permeable. La pequeña sección del pavimento debe ser lavado a presión utilizando diferentes presiones de agua para determinar la apropiada presión para el pavimento dado. En cambio el aspirado elimina contaminantes por extracción a partir por los vacíos del pavimento.

El esquema más eficaz, sin embargo, es la combinación de las dos técnicas donde el aspirado se realiza tras el lavado a presión. La propuesta de calendario de mantenimiento se puede encontrar en la tabla 6.7.

Las investigaciones realizadas por la Florida y Productos de hormigón Asociación (1990) cuantifica el grado de contaminante infiltración en pavimentos de concreto permeable en un estacionamiento, donde, cinco estacionamientos fueron examinados como parte del estudio, y el nivel de infiltración contaminante se encontró que era muy bajo. La infiltración se encontró que en el intervalo de 0.16 a 3.4% del volumen vacío total hasta después de 8 años de servicio. Además, barriendo la superficie inmediatamente restaurado inmediatamente más del 50% de la permeabilidad de un pavimento obstruido.

ACTIVIDAD	PERIODO
Verificación de la presencia de escombros	Mensual
Verificación de la presencia de sedimento	
Limpeza de raíces o semillas del pavimento	Cuando sea Necesario
Aspirado de sedimentos de la superficie del pavimento	
Inspección del deterioro y desprendimiento de la superficie del pavimento	Anual

Tabla 6.7: Calendario de mantenimiento de los pavimentos permeables.  
Fuente: ACI 522.



# CAPÍTULO 7: ANÁLISIS DE COSTOS

## UNITARIOS

A continuación se presentan los análisis de costos unitarios realizado para la diseño de mezcla PP18-E la que es la que mejores resultados nos brindó luego de todas las pruebas realizadas en laboratorio y la cual cumple con el requisito que nos pide la norma ACI 522-R\_10, el cual tiene que ver con el proceso de fabricación de pavimentos permeables de baja transitabilidad vehicular, el cual tífica una resistencia a la compresión entre 175 kg/cm<sup>2</sup> y 285 kg/cm<sup>2</sup>.

Teniendo en cuenta las dosificaciones obtenidas en el diseño de mezcla, adicionalmente se realiza un contraste con un concreto convencional con características de desempeño similares.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"
---	--

### ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS

**Partida : LOSA DE CONCRETO CONVENCIONAL: CONCRETO F'C=280 KG/CM2**

Rendimiento	m3/DIA	MO.=13	EQ.=13	Costo unitario directo por : m3	450.95
-------------	--------	--------	--------	---------------------------------	--------

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
CAPATAZ	hh	0.100	0.062	16.800	1.034
OPERARIO	hh	2.000	1.231	16.320	20.086
OFICIAL	hh	3.000	1.846	15.330	28.302
PEON	hh	10.000	6.154	13.810	84.985
					<b>134.406</b>
<b>Materiales</b>					
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.630	65.000	40.950
ARENA GRUESA	m3		0.520	60.000	31.200
CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO TIPO IP (42.5KG)	BOL		11.340	20.200	229.068
AGUA	m3		0.195	2.700	0.527
					<b>301.745</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3%	134.406	4.032
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9-11P3	hm	1.000	0.615	12.500	7.692
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.50"	hm	1.000	0.615	5.000	3.077
					<b>14.801</b>

Tabla 7.1: Análisis de costos unitarios losa de concreto convencional.  
Fuente: Propia.

 	<b>UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA</b>
	<b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b>
	TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"

**ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS**

**Partida : LOSA DE CONCRETO PERMEABLE: CONCRETO F'C=280 KG/CM2**

Rendimiento      m3/DIA      MO.=13      EQ.=13      Costo unitario directo por : m3      443.98

Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
<b>Mano de Obra</b>					
CAPATAZ	hh	0.100	0.062	16.800	1.034
OPERARIO	hh	2.000	1.231	16.320	20.086
OFICIAL	hh	3.000	1.846	15.330	28.302
PEON	hh	10.000	6.154	13.810	84.985
					<b>134.406</b>
<b>Materiales</b>					
PIEDRA CHANCADA DE 3/4"	m3		0.580	75.000	43.500
ARENA GRUESA	m3		0.067	60.000	4.020
CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO TIPO IP (42.5KG)	bol		8.530	20.200	172.306
ADITIVO EUCO NEO-PLAST 8500	GLN		0.910	73.000	66.430
AGUA	m3		0.145	2.700	0.392
					<b>286.648</b>
<b>Equipos</b>					
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		3%	134.406	4.032
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11P3	hm	1.000	0.615	12.500	7.692
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 1.50"	hm	1.000	0.615	8.000	4.923
COMPACTADOR VIBR. TIPO PLANCHA 7 HP	hm	1.000	0.615	10.200	6.277
					<b>22.924</b>

**Tabla 7.2: Análisis de costos unitarios losa de concreto permeable.**  
Fuente: Propia.

De los análisis de precio anteriores se puede observar que los pavimentos rígidos de concretos permeables son soluciones económicamente viables, en comparación con el concreto convencional, esto se debe a que los insumos difieren en la dosificación con respecto al metro cubico de mezcla.

El valor del metro cubico de la mezcla de concreto convencional tiene un valor de S/. 450.95 y la de concreto permeable tiene un valor de S/. 443.98 siendo aproximadamente un 1.56% menos costoso que el concreto convencional.

Esto se debe a la diferencia en la cantidad de cemento y a la poca cantidad de agregado fino. En contraste, los diseños de mezclas de concreto permeable desarrolladas en esta investigación, son viables económicamente para ser utilizadas como solución a las estructuras de pavimento planteadas en esta investigación.

## CONCLUSIONES

1. Los diseños de mezclas realizados y elaborados en el laboratorio, reúnen las características indispensables y primordiales para el concreto permeable, donde las mejores propiedades mecánicas e hidráulicas obtenidas son del diseño PP18-E. Con una Resistencia a la Compresión de  $f'c = 334 \text{ kg/cm}^2$ . Resistencia a la Tracción Indirecta  $f'c = 49 \text{ kg/cm}^2$ . Resistencia a la Flexión  $f'c = 48.8 \text{ kg/cm}^2$ . Resistencia al Desgaste de 22.61 % y una permeabilidad de 3.82 mm/s.
2. Para los diseños PP8-S, PP9-S (SIKA) y PP14-E, PP15-E (EUCCO), Se le adiciono cemento hasta  $450 \text{ kg/m}^3$ , y llegaron a una resistencia  $f'c = 490 \text{ kg/cm}^2$  a  $f'c = 511 \text{ kg/cm}^2$ . Pero dejaron de ser permeables  $0.68 \text{ mm/s}$  @  $0.82 \text{ mm/s}$  y un contenido de vacíos de 6.4 % @ 8.6 %. Quedando descartados como diseños permeables.
3. El uso de agregado fino (Arena gruesa) fue muy importante en la presente investigación, permitiendo que el material fino se junte de una mejor manera con la pasta de cemento y este permita una mejor adherencia entre los agregados.
4. Los diseños realizados sin agregado fino y con 15% de vacíos, dieron resistencia a la compresión muy bajas ( $f'c = 90 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 28 días.
5. Los diseños realizados sin agregado fino y con 10% de vacíos, dieron resistencia a la compresión bajas ( $f'c = 115 \text{ kg/cm}^2$ ) a los 28 días. En ambos casos (sin finos) no serían considerados dentro del uso del pavimento permeable.
6. Para poder alcanzar mayor resistencia en el concreto permeable se trabajó con el porcentaje mínimo de vacíos (10%). Brindando al concreto una mayor resistencia y durabilidad ( $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$ ).
7. La presencia de aditivos: Aditivo Superplastificante con retardo Viscocrete 1110 PE de la marca Sika y Aditivo reductor de agua de alto rango y superplastificante sin retardo Neoplast 8500 HP de la marca Euco, permitieron dar una mejor trabajabilidad en el concreto durante los primeros 45 minutos (slump de 4" a 7"). Pero el que brindo mejor desempeño y mejores

propiedades en estado endurecido fue el aditivo Neoplast 8500 HP de la marca Euco.

8. Para que el concreto sea considerado como permeable, su coeficiente de permeabilidad debe estar entre 1.4 mm y 12.2 mm/s. Los resultados de permeabilidad de esta investigación estuvieron dentro del rango permitido por la norma ACI 522R-10. Solo los concretos que se adicionaron cemento (PP8-S, PP9-S, PP14-E, PP15-E.) no pasaron esta prueba, por ende no son permeables.
9. La permeabilidad promedio, de los diseños considerados permeables en la investigación fue de 3.21 mm/s (rango según norma entre 1.4 mm y 12.2 mm/s)
10. Según la norma ACI 522R-10, para un contenido de vacíos de 10%, se debería tener una resistencia aproximada de  $f'c = 290 \text{ kg/cm}^2$ . De los resultados obtenidos se consiguió resistencias de  $f'c = 334 \text{ kg/cm}^2$ .
11. La resistencia a la tracción indirecta (método brasileño) se encuentra entre el 10% y 15 % de la resistencia a compresión.
12. La resistencia a la flexión (Modulo de rotura "Mr"), tiene una correlación con la resistencia a la compresión  $f'c$ . según el ACI 363, este debe estar en el rango de 1.99 @ 3.18, de la raíz cuadrada del  $f'c$  ( $Mr = 1.99 @ 3.18 \sqrt{f'c}$ ), siendo el coeficiente ideal.  $Mr = 2.58 \sqrt{f'c}$ .
13. El módulo de rotura (Mr) recomendado para pavimento es de:  
45 kg/cm<sup>2</sup> para zonas industriales y vías urbanas principales.  
48 kg/cm<sup>2</sup> para carreteras y autopistas.  
Para nuestros diseños de concreto permeable se obtuvieron resistencias (Mr) de 37 a 49 kg/cm<sup>2</sup> y los que cumplen con el Mr recomendado son: PP8-A, PP12-S, PP17-E Y PP18-E.
14. Los contenidos de vacíos en un concreto permeable están en función a 3 factores primordiales: Esfuerzo de compactación, uniformidad de los agregados y la inclusión o no del agregado fino.
15. El porcentaje de vacíos de diseño (calculado) fue menor al contenido de vacíos (obtenidos) en el ensayo de contenido de vacíos. Y el contenido de

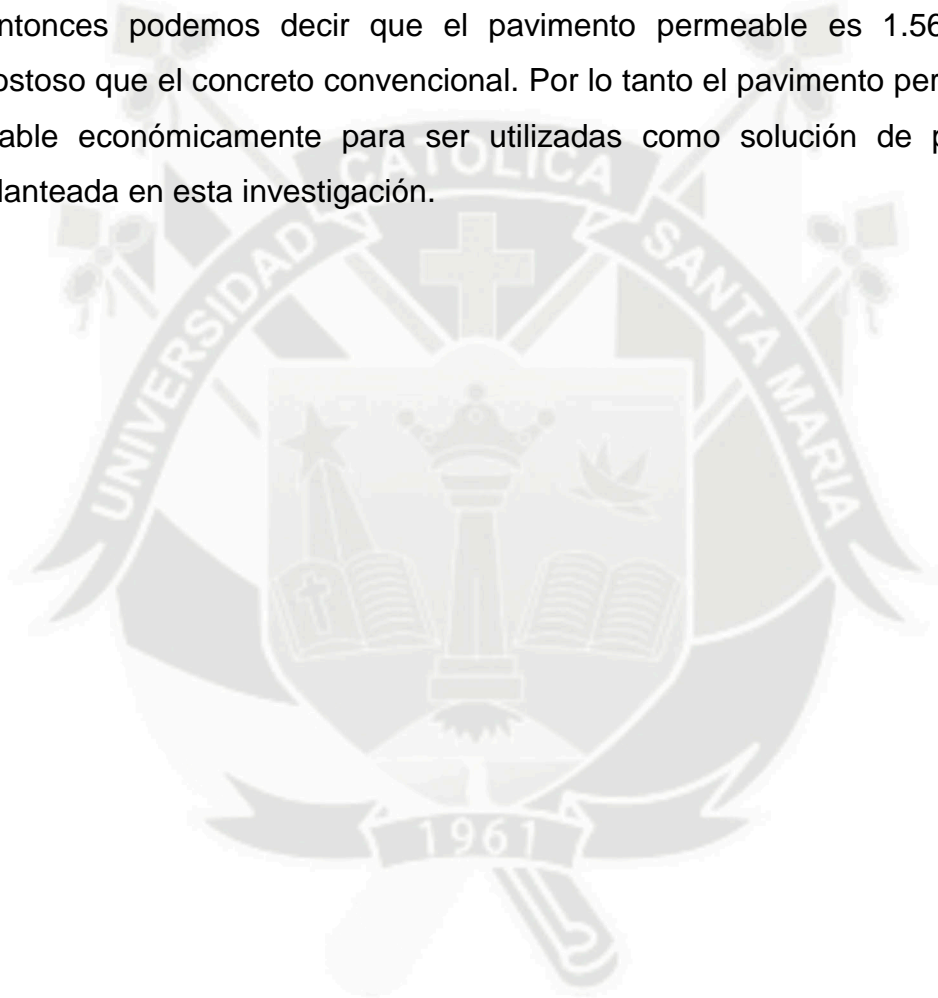
vacíos, fue casi similar al contenido de aire atrapado (obtenido de la olla Washington).

16. Del análisis de costos entre pavimentos rígidos de concreto permeable y Concreto Convencional, por metro cubico fue el siguiente:

El Concreto Convencional tiene un costo de S/. 450.95.

El Concreto Permeable tiene un valor de S/. 443.98.

Entonces podemos decir que el pavimento permeable es 1.56% menos costoso que el concreto convencional. Por lo tanto el pavimento permeable es viable económicamente para ser utilizadas como solución de pavimento. Planteada en esta investigación.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que cuando se haga uso del agregado fino (arena gruesa), el uso de este sea menor al 20%.
2. El uso de aditivos es opcional en proyectos de pequeña y media envergadura (áreas pequeñas), siempre y cuando se tenga mucho cuidado en la colocación y preparación de la mezcla, ya que el fraguado de este tipo de concreto es rápido en comparación con un concreto convencional.
3. El proceso de curado debe de iniciar inmediatamente después de compactar la mezcla de pavimento permeable, para evitar la pérdida del agua de la mezcla.
4. Se recomienda que el tiempo de mezclado del concreto permeable sea como mínimo de 4 @ 5 minutos, considerando la relación agua-cemento (a/c) baja de 0.30, 0.35 y 0.40.
5. Realizar futuras investigaciones para la elaboración de un catálogo de espesores de losa, en función al suelo sobre el que se colocara el Pavimento Permeable.
6. Se recomienda seguir con el estudio del Pavimento Permeable con agregado fino (Arena Gruesa) entre los rangos de 10% y 15% y verificar su resistencia y trabajabilidad.
7. Se recomienda investigar y realizar ensayos con adiciones de fibras (Metálicas y Polipropileno), para poder verificar las propiedades en estado fresco y en estado endurecido, así como la permeabilidad en el concreto permeable.
8. Investigar las propiedades del concreto utilizando otro tipo de agregados, como por ejemplo: piedra ½" (huso 57), confitillo (huso 89) con adiciones de agregado fino (arena).
9. Para la colocación y compactación, se recomienda, fabricar rodillos manuales con un peso mayor a los 100 kg. Reglas vibratorias según el ancho a pavimentar.
10. Se recomienda realizar la limpieza del concreto permeable, cuando esté completamente seco. Utilizando aire comprimido o con agua a presiones moderadas.

11. Se recomienda, realizar un monitoreo sobre las posibles fallas del pavimento permeable, limpieza, mantenimiento, reparación y cuidados del pavimento permeable.



## BIBLIOGRAFÍA

1. ACI Committee 522 (2010), Pervious Concrete, 522R-10, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
2. ACI 211.3R-97, Guide for selecting proportions for no-slump concrete, Appendix 7-Pervious concrete mix proportioning. 211.3R-21. American Concrete Institute.
3. Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto, Illinois, EE.UU.
4. Pasquel Carbajal, E. (1993), Tópicos de Tecnología del Concreto, Colegio de ingenieros del Perú, Lima.
5. Concreto Poroso Drenante de alto Desempeño, Borrador de especificaciones básicas (Documento en Revisión). Asocreto, 2003.
6. Hernán Castro, Javier (2002). Pavimentos Porosos de Hormigón, Una opción para mitigar los Efectos de las Aguas Lluvias, Revista BIT.
7. Barahona Aguiluz, Rene. Martinez Guerrero, Marlon. Zelaya, Steven. (2013). Tesis (Comportamiento del Concreto Permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca y la Pedrera, de la zona oriental de el salvador), San Miguel, Salvador.
8. Calderón Colca Yaneth, Charca Chura, Juan. (2012). Tesis (Análisis y Diseño de Pavimentos Permeables de Concreto Poroso), Arequipa, Perú.
9. <https://www.nrmca.org/greenconcrete/default.asp>.
10. [http://alconcrete.org/wp-content/uploads/2012/02/pervious\\_article1.pdf](http://alconcrete.org/wp-content/uploads/2012/02/pervious_article1.pdf)
11. [http://alconcrete.org/wp-content/uploads/2012/02/pervious\\_article2.pdf](http://alconcrete.org/wp-content/uploads/2012/02/pervious_article2.pdf)
12. <http://chargerenterprises.com/pervious/>
13. <http://chargerenterprises.com/pervious/what-is-pervious/important-factors/>
14. [http://www.coolcommunities.org/cool\\_pavements.htm](http://www.coolcommunities.org/cool_pavements.htm)
15. <http://chargerenterprises.com/pervious/>

## NORMAS Y REPORTEES

1. ACI-211.1-91. (2002). Standard practice for selecting proportions for
2. Normal, heavyweight, and Mass concrete. ACI, 20.
3. ACI-522R.6 (2006). Pervius Concrete. ACI.
4. ASTM-C1688/ C 1688M.-08 (2010). Standard test method for density and void content of Freshly Mixed Pervius Concrete. ASTM international.
5. ASTM-C127 (1993). Standard test method for specific gravity and absorption of coarse aggregate. USA. ASTM international.
6. ASTM-C131 (1996). Standard test method for resistance to degradation of small-size coarse aggregate by abrasion and impact in the los Ángeles machine. USA: ASTM international.
7. ASTM-C136 (1996). Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. USA: ASTM international.
8. ASTM-C29 (1997). Standard test method for bulk density and void in aggregate. USA: ASTM international.
9. ASTM-C33 (1999). Standard specification for concrete aggregates. USA: ASTM international.
10. ASTM-C88 (1999). Standard test method for soundness of aggregates by use of sodium sulfate or magnesium sulfate. USA: ASTM international.
11. ASTM-C09.49 Métodos de prueba alternativos para el concreto permeable. ASTM international.
12. NTP 339.078 (2001). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión simple del hormigón, en viga simplemente apoyada con cargas a los tercios del tramo. Norma Técnica Peruana.
13. NTP 339.079 (2001). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la flexión simple del hormigón, en viga simplemente apoyada con cargas en el centro del tramo. Norma Técnica Peruana.
14. NTP 339.084 (2002). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral en una probeta cilíndrica. Norma Técnica Peruana.
15. NTP 400.012 (2002). Análisis granulométrico del agregado fino y grueso global. Norma Técnica Peruana.

16.NTP 400.019 (2002). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores por abrasión e impacto en la Maquina de los Ángeles. Norma Técnica Peruana. ASTM C131.

17.NTP 400.021 (2002). Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso. Norma Técnica Peruana.



# ANEXOS

## CERTIFICADO DE CALIDAD



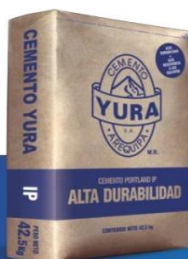
### CEMENTO PORTLAND TIPO IP

	YURA	ASTM C 595 NTP 334.090
<u>REQUERIMIENTOS QUIMICOS:</u>		
Óxido de Magnesio, MgO, %	1.76	6.00 Máximo
Trióxido de Azufre, SO <sub>3</sub> , %	2.00	4.00 Máximo
Pérdida por Ignición o al Fuego, P.F %	2.53	5.00 Máximo
<u>REQUERIMIENTOS FISICOS:</u>		
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.81	No Especifica
Expansión en Autoclave, %	-0.02	0.80 Máximo
Tiempo de Fraguado, Ensayo de Vicat, minutos		
Tiempo de Fraguado (Inicial)	217	45 Mínimo
Tiempo de Fraguado (Final)	258	420 Máximo
Contenido de Aire del mortero, %	2.90	12.00 Máximo
Resistencia a la Compresión, MPa, (Kgf/cm <sup>2</sup> )		Mínimo :
01 día	9.95 (102)	No Especifica
03 días	20.06 (205)	13.0 (133)
07 días	24.12 (246)	20.0 (204)
28 días	31.77 (324)	25.0 (255)

Este Documento muestra Características Típicas del Promedio Mensual de la Producción del mes confirmando que este cemento cumple especificaciones de las normas ASTM C- 595 y NTP 334.090

**Arequipa, 05 de Septiembre 2016**

  
 Gonzalo Álvarez Cárdenas  
 Jefe de Control de Calidad  
 Yura S.A.



Planta: Carretera Yura Km. 26 - Arequipa  
 Oficina comercial: Av. General Diez 527 - Arequipa  
 Telf.: (51 54) 495060 / 225000  
[www.yura.com.pe](http://www.yura.com.pe)

# HOJA TÉCNICA

## Sika® ViscoCrete®-1110 PE

Aditivo superplastificante con retardo

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un poderoso superplastificante de tercera generación para concretos y morteros. Ideal para concretos autocompactantes.

#### USOS

- Es adecuado para la producción de concreto en obra, así como para el concreto pre-mezclado.
- Facilita la extrema reducción de agua, tiene excelentes propiedades con los agregados finos, una óptima cohesión y alto comportamiento autocompactante.
- Se usa para los siguientes tipos de concreto:
  - Concreto autocompactante.
  - Para concretos bajo agua, sistemas tremie. (la relación agua – material cementante debe ser entre 0.30 a 0.45)
  - Concreto para climas cálidos y/o sometidos a trayectos largos o espera antes de su utilización.
  - Concreto de alta reducción de agua (hasta 30%)
  - Concreto de alta resistencia.
  - Inyección de lachada de cements con alta fluidez.
- La alta reducción de agua y la excelente fluidez tienen una influencia positiva sobre las aplicaciones antes mencionadas.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Sika® ViscoCrete®-1110 PE actúa por diferentes mecanismos. Gracias a la absorción superficial y el efecto de separación espacial sobre las partículas de cemento (paralelos al proceso de hidratación) se obtienen las siguientes propiedades:

- Fuerte reducción de agua y aumenta la cohesión lo que lo hace adecuado para la producción de concreto autocompactante.
- Alta Impermeabilidad.
- Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia).
- Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- Mejora la plasticidad y disminuye la contracción plástica.
- A dosis altas mantiene el slump por más de dos horas (Hacer pruebas de diseño) Esto puede variar por las condiciones ambientales y el tipo de cemento que use.
- Reduce la carbonatación del concreto.

- Aumenta la durabilidad del concreto.
- Reduce la exudación y la segregación.
- Aumenta la adherencia entre el concreto y el acero.

Sika® ViscoCrete®-1110 PE no contiene cloruros ni otros ingredientes que promuevan la corrosión del acero. Por lo tanto, puede usarse sin restricciones en construcciones de concreto reforzado y pre-tensado.

## NORMAS

## ESTÁNDARES

Cumple con la norma ASTM C-494 Tipo G y ASTM C-1017

## DATOS BÁSICOS

### FORMA

### COLORES

Marro claro a marrón oscuro

### ASPECTO

Líquido

### PRESENTACIÓN

- Granel x 1 L.
- Cilindro x 200 L.

### ALMACENAMIENTO

### CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

12 meses a partir de la fecha de producción, en su envase original y sin abrir, protegido de la luz directa del sol y de las heladas, a temperaturas entre 5 °C y 35 °C.

### DATOS TÉCNICOS

### DENSIDAD

1,06 kg/L ± 0,01

### USGBC VALORACIÓN LEED

Sika® ViscoCrete®-1110 PE cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants. Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

### DETALLES DE APLICACIÓN

### CONSUMO / DOSIS

- Para concretos plásticos suaves: 0,4 % - 1 % del peso del cemento.
- Para concretos fluidos y autocompactantes: 1% - 2 % cm<sup>3</sup> por kilogramo de cemento.

### MÉTODO DE APLICACIÓN

### MODO DE EMPLEO

Sika® ViscoCrete®-1110 PE se agrega al agua de amasado o junto con el agua a la mezcladora de concreto. Para un aprovechamiento óptimo de la alta capacidad de reducción de agua, recomendamos un mezclado cuidadoso durante 60 segundos como mínimo.

Para evitar la exudación en el concreto y lograr la consistencia deseada, el agua restante de la mezcla recién se añadirá cuando hayan transcurrido 60 segundos del tiempo de mezclado.

Cuando se trabaja con relaciones a/c bajas es recomendable mezclar el concreto de 7 a 10 minutos.

El uso de Sika® ViscoCrete®-1110 PE garantiza un concreto de la más alta calidad. Sin embargo, también en el caso del concreto preparado con Sika® ViscoCrete®-1110 PE debe cumplirse con las normas estándar para la buena producción y colocación de concretos.

El concreto fresco debe ser curado apropiadamente con Sika® Antisol® S.

---

**IMPORTANTE****PARA CONCRETOS FLUIDOS Y CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES.**

Sika® ViscoCrete®-1110 PE también puede usarse para concretos fluidos y autocompactantes mediante la utilización de dosificaciones especiales de mezclado.

Cuando el Sika® ViscoCrete®-1110 PE está Congelado.

Descongelarlo lentamente a temperatura ambiente y mezclarlo en forma intensiva.

**COMBINACIONES.**

Sika® ViscoCrete®-1110 PE puede combinarse con los siguientes productos Sika: Sika® - 1, Sika® CNI, Sika® Fume y SikaAer®, entre otros.

Se recomienda realizar un ensayo previo si se realizan combinaciones de varios de los productos antes mencionados. Favor consultar a nuestro servicio técnico.

**PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN**

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

**ECOLOGÍA**

No desechar en vías acuáticas ni en el suelo. Cumplir las normas locales al respecto.

**TOXICIDAD**

No tóxico según los códigos suizos vigentes sobre salud y 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. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. 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](http://www.sika.com.pe).

---

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición N° 3  
la misma que deberá ser destruida”**

---

---

**PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® ViscoCrete®-1110 PE :**

**1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS**



**2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL**



Sika Perú S.A.  
Concrete  
Centro Industrial "Las Praderas  
de Lurín S/N - Mz "B" Lote 5 y  
6, Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
Sika® ViscoCrete®-1110 PE  
22.01.15, Edición 4

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.  
CG, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [información@pe.sika.com](mailto:información@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.



una empresa QUICORP



## NEOPLAST 8500 HP®

### ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y SUPERPLASTIFICANTE SIN RETARDO

#### DESCRIPCIÓN

**NEOPLAST 8500 HP** es un aditivo para concreto especialmente desarrollado para incrementar el tiempo de trabajabilidad, reductor de agua de alto rango sin retardo y optimizador de cemento en mezclas de concreto, está diseñado para ser empleado en climas cálidos y fríos.

#### APLICACIONES PRINCIPALES

- Concreto autocompactados.
- Concreto de baja relaciones agua/cemento.
- Concreto de alta resistencia.
- Concreto fluido de alto asentamiento.
- Concreto reforzado.

#### BENEFICIOS

- Produce concreto fluidos sin retardo.
- Permite que el concreto o mortero sea transportado a largas distancias.
- Reduce más de 45% del agua de amasado.
- Reduce la segregación y exudación en el concreto plástico.
- Reduce las fisuras y permeabilidad en el concreto endurecido.

#### INFORMACIÓN TÉCNICA

Densidad : 1.10 kg/L  
Color : Ámbar oscuro  
Apariencia : Líquido

#### ESPECIFICACIONES /NORMA

El **NEOPLAST 8500 HP** cumple con la clasificación de la norma NTP 334.088 y ASTM C-494, Tipo F. (\*).

## NEOPLAST 8500 HP®

### ADITIVO REDUCTOR DE AGUA DE ALTO RANGO Y SUPERPLASTIFICANTE SIN RETARDO

#### INSTRUCCIONES DE USO

**NEOPLAST 8500 HP** se presenta listo para su uso y debe incorporarse a la mezcla cuando ésta se encuentra húmeda dentro del mezclador, ya sea en la planta o en la obra. Agregue **NEOPLAST 8500 HP** al agua restante del amasado de la mezcla o directamente. No debe entrar en contacto directo con el cemento seco.

Las variaciones en la pérdida de asentamiento y fraguado están en función a la cantidad usada del aditivo, característica del cemento y el diseño de mezcla elegido

#### DOSIFICACIÓN

El **NEOPLAST 8500 HP** es recomendado usar a una dosificación 0.2– 2.0% por peso del cemento. Se recomienda hacer ensayos previos para establecer la dosis según los requerimientos establecidos en obra.

#### PRESENTACIÓN

- Tanques 1100 kg
- Cilindro 180 kg
- Balde 20 kg

#### PRECAUCIONES / RESTRICCIONES

- Se debe proteger el **NEOPLAST 8500 HP** contra el congelamiento. Nunca agite con aire.
  - Los cambios en los tipos de cemento, agregados y temperatura modifican el desempeño de los aditivos en la mezcla de concreto, variando resultados en el concreto fresco y endurecido.
  - No es compatible con los aditivos base naftalenos.
  - Se debe consultar con nuestros Asesores Técnicos cada vez que se tenga dudas respecto al uso del producto. De esta manera, podrá definir la solución que ofrezca un mejor costo-beneficio a nuestro cliente.
  - EL producto debe almacenarse en su envase original, bien cerrado, bajo techo, en un lugar fresco y seco.
- (\*) NEOPLAST 8500 HP clasifica la norma en la dosis de 0.5%.

#### MANEJO Y ALMACENAMIENTO

**NEOPLAST 8500 HP** debe almacenarse en su envase original herméticamente cerrado y bajo techo.

Vida útil de almacenamiento: 12 meses.

**SOLICITA** : CHAIÑA - VILLANUEVA  
**OBRA** : TESIS: "DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA"  
**CERTIFICADO** : CC - SPX - 1406 - 2016

Nº	DISEÑO	DESCRIPCION	FECHA DE VACIADO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	LONG. (cm)	DIST. (cm)	ALTURA (cm)	ANCHO (cm)	CARGA (Kgf)	MR (kg/cm <sup>2</sup> )	PROMEDIO (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	PP7-S	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	13-9-16	20-9-16	7	60.00	46.00	15.00	15.02	2540	34.57	33.8
2	PP7-S	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	13-9-16	20-9-16	7	60.00	46.00	15.01	15.00	2429	33.06	
3	PP7-S	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	13-9-16	11-10-16	28	60.00	46.00	15.04	15.00	3253	44.10	43.8
4	PP7-S	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	13-9-16	11-10-16	28	60.00	46.00	15.01	15.01	3196	43.47	
5	PP8-S	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	20-9-16	27-9-16	7	60.00	46.00	15.00	15.01	3130	42.63	42.0
6	PP8-S	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	20-9-16	27-9-16	7	60.00	46.00	15.02	15.02	3048	41.38	
7	PP8-S	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	20-9-16	18-10-16	28	60.00	46.00	15.02	15.00	4241	57.65	58.0
8	PP8-S	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	20-9-16	18-10-16	28	60.00	46.00	15.02	15.02	4302	58.40	
9	PP9-S	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	21-9-16	28-9-16	7	60.00	46.00	15.00	15.00	3347	45.62	44.6
10	PP9-S	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	21-9-16	28-9-16	7	60.00	46.00	15.01	15.02	3210	43.64	
11	PP9-S	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	21-9-16	19-10-16	28	60.00	46.00	15.01	15.00	4185	56.96	56.8
12	PP9-S	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20% - SIKA	21-9-16	19-10-16	28	60.00	46.00	15.03	15.01	4172	56.60	
13	PP10-S	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	22-9-16	29-9-16	7	60.00	46.00	15.01	15.03	2283	31.01	30.8
14	PP10-S	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	22-9-16	29-9-16	7	60.00	46.00	15.02	15.00	2250	30.59	
15	PP10-S	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	22-9-16	20-10-16	28	60.00	46.00	15.02	15.01	3043	41.34	42.4
16	PP10-S	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	22-9-16	20-10-16	28	60.00	46.00	15.00	15.02	3186	43.37	
17	PP11-S	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	23-9-16	30-9-16	7	60.00	46.00	15.00	15.00	2750	37.48	37.1
18	PP11-S	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	23-9-16	30-9-16	7	60.00	46.00	15.00	15.02	2692	36.64	
19	PP11-S	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	23-9-16	21-10-16	28	60.00	46.00	15.01	15.00	3266	44.46	44.6
20	PP11-S	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	23-9-16	21-10-16	28	60.00	46.00	15.02	15.00	3286	44.67	
21	PP12-S	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	28-9-16	5-10-16	7	60.00	46.00	15.01	15.03	2863	38.89	38.9
22	PP12-S	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	28-9-16	5-10-16	7	60.00	46.00	15.02	15.00	2857	38.84	
23	PP12-S	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	28-9-16	26-10-16	28	60.00	46.00	15.02	15.01	3477	47.23	46.9
24	PP12-S	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10% - SIKA	28-9-16	26-10-16	28	60.00	46.00	15.00	15.02	3428	46.66	
25	PP13-E	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	29-9-16	6-10-16	7	60.00	46.00	15.02	15.02	2495	33.87	34.3
26	PP13-E	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	29-9-16	6-10-16	7	60.00	46.00	15.01	15.03	2553	34.68	
27	PP13-E	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	29-9-16	27-10-16	28	60.00	46.00	15.02	15.00	3158	42.93	43.3
28	PP13-E	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	29-9-16	27-10-16	28	60.00	46.00	15.01	15.03	3219	43.73	
29	PP14-E	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	30-9-16	7-10-16	7	60.00	46.00	15.03	15.03	3212	43.52	43.7
30	PP14-E	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	30-9-16	7-10-16	7	60.00	46.00	15.02	15.00	3222	43.80	
31	PP14-E	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	30-9-16	28-10-16	28	60.00	46.00	15.01	15.02	4426	60.16	60.1
32	PP14-E	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	30-9-16	28-10-16	28	60.00	46.00	15.00	15.03	4408	59.96	
33	PP15-E	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	4-10-16	11-10-16	7	60.00	46.00	15.00	15.01	3042	41.43	41.7
34	PP15-E	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	4-10-16	11-10-16	7	60.00	46.00	15.01	15.02	3091	42.02	
35	PP15-E	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	4-10-16	1-11-16	28	60.00	46.00	15.03	15.03	4115	55.75	56.0
36	PP15-E	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 20% - EUCO	4-10-16	1-11-16	28	60.00	46.00	15.02	15.01	4140	56.24	
37	PP16-E	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	7-10-16	14-10-16	7	60.00	46.00	15.02	15.04	2431	32.96	32.8
38	PP16-E	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	7-10-16	14-10-16	7	60.00	46.00	15.02	15.03	2410	32.70	
39	PP16-E	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	7-10-16	4-11-16	28	60.00	46.00	15.00	15.02	3163	43.05	43.2
40	PP16-E	(R a/c = 0.30) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	7-10-16	4-11-16	28	60.00	46.00	15.02	15.02	3188	43.28	
41	PP17-E	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	10-10-16	17-10-16	7	60.00	46.00	15.00	15.03	2645	35.98	36.2
42	PP17-E	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	10-10-16	17-10-16	7	60.00	46.00	15.02	15.02	2687	36.48	
43	PP17-E	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	10-10-16	7-11-16	28	60.00	46.00	15.03	15.04	3348	45.33	45.8
44	PP17-E	(R a/c = 0.35) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	10-10-16	7-11-16	28	60.00	46.00	15.01	15.02	3409	46.34	
45	PP18-E	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	11-10-16	18-10-16	7	60.00	46.00	15.01	15.02	2705	36.77	36.9
46	PP18-E	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	11-10-16	18-10-16	7	60.00	46.00	15.01	15.00	2722	37.05	
47	PP18-E	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	11-10-16	8-11-16	28	60.00	46.00	15.00	15.04	3566	48.47	48.8
48	PP18-E	(R a/c = 0.40) 10% vacios, CON FINOS 10% - EUCO	11-10-16	8-11-16	28	60.00	46.00	15.01	15.03	3619	49.16	



**UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO**

**CONSTANCIA**

El que suscribe, **Ing. Alejandro Hidalgo Valdivia**, Coordinador de Laboratorio de Suelos y Concreto del Programa Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa,

**HACE CONSTAR**

Que los Señores Bachilleres en Ingeniería Civil:

**JORGE LUIS CHAIÑA QUISPE**

Código N° 2001202381

**YONNY ALEXANDER VILLANUEVA ESCOBEDO**

Código N° 2002246321

Han realizado los ensayos de Laboratorio de Concreto y Materiales de Construcción para complementar su trabajo de tesis para optar el título de Ingeniero Civil cuyo Título es: **“DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE, PARA PAVIMENTOS RIGIDOS, UTILIZANDO PIEDRA HUSO 67 Y ARENA GRUESA DE LA CANTERA LA PODEROSA, PARA LA CIUDAD DE AREQUIPA”**.

Los ensayos efectuados por los señores tesisistas fueron los siguientes:

- 02 Contenido de Humedad
- 02 Análisis Granulométrico
- 02 Pesos Unitarios Suelos
- 02 Pesos Unitarios Varillados
- 02 Gravedad Específica
- 12 Ensayos de Desgaste por Abrasión
- 492 Elaboraciones y ensayos de resistencia a la compresión: Probetas de concreto, incluido slump, temperatura y olla Washington.

Los trabajos realizados en las instalaciones del Laboratorio de Suelos y Concreto, han sido realizados entre el 26/07/16 y el 09/11/16.

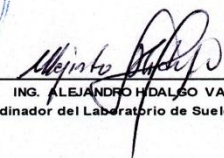
Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen conveniente.

Arequipa, 21 de Noviembre del 2016



UNIVERSIDAD CATOLICA DE SANTA MARIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LABORATORIO  
SUELOS Y  
CONCRETO

  
ING. ALEJANDRO HIDALGO VALDIVIA  
Coordinador del Laboratorio de Suelos y Concreto