

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**“EVALUACIÓN DE UNA LOSA DE CONCRETO PERMEABLE VACIADA  
IN SITU, PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE  
PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”**

**Para Optar el Título Profesional De:**

**INGENIERO CIVIL**

**Presentado por:**

**Bach. DEÉNER OLAVÍ PAREDES GARRIDO**

**Asesor:**

**Ing. WILLIAM PRÓSPERO QUIROZ GONZALES**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2018**

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la vida, por haberme permitido llegar a este punto dándome salud para lograr la culminación del presente trabajo de investigación.

A mis padres y hermanos por su apoyo incondicional, cada uno de ustedes han aportado grandes cosas a mi vida en los momentos que más lo he necesitado.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor de tesis Ing. William Próspero Quiroz Gonzales por la orientación y el apoyo que me brindó durante todo el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Finalmente, agradezco de manera muy especial a: Leiner Guerrero Gonzales y Wille Ortiz Cerna, ya que con su ayuda es que se hizo posible el desarrollo del presente trabajo.

## **DEDICATORIA**

A mis padres: Olaví y Teresa

Por darme fuerza para seguir adelante y haber logrado  
llegar hasta aquí, para cumplir con sueños y objetivos en la vida.

A mis hermanos: Lelis y Elder

Por su apoyo incondicional en todos estos años.

A mi tía Panchita:

Por sus sabios consejos para afrontar la vida y no desmayar en los problemas que se  
presentan para superarse cada día.

A la memoria de:

M. en I. Héctor Albarino Pérez Loayza

**Deéner.**



<b>CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>76</b>
3.1 MATERIALES USADOS EN LA INVESTIGACIÓN .....	77
3.1.1 AGREGADOS .....	77
3.1.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS DEL AGREGADOS FINO Y GRUESO .....	78
3.1.3 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS .....	78
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	79
3.2.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO .....	79
3.2.2 MUESTRA .....	79
3.2.3 UNIDAD DE ANÁLISIS.....	80
3.3 ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN.....	81
ETAPA I.....	82
3.4 ESTUDIOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS SE REALIZÓ SEGÚN LAS NORMAS ASTM Y NTP.....	82
3.4.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA.....	82
3.5.1 METODOLOGÍA DE LA DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE. ....	84
3.5 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.....	85
3.5.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS USADOS.....	85
3.5.2 VACIADO DE LOS CILINDROS.....	85
3.5.3 CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO. ....	86
3.5.4 MEZCLAS DE PRUEBA .....	86
ETAPA II.....	87
3.6 DISEÑO INICIAL CON ADITIVO POLIFUNCIONAL.....	87
3.7 DISEÑO INICIAL CON ADITIVO POLIFUNCIONAL Y FIBRAS DE POLIPROPILENO.....	87
3.8 ESPECÍMENES CON DIFERENTES TIPOS DE MEZCLA .....	88
ETAPA III .....	89
3.9 DISEÑO DE LA LOSA DE CONCRETO PERMEABLE. ....	89
3.10 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR.....	89
3.11 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA MEDIR LA TASA DE INFILTRACIÓN EN EL LUGAR DEL CONCRETO PERMEABLE (NORMA ASTM C 1701 -09).....	90
3.11.1 INSTRUMENTOS .....	90
3.11.2 UBICACIÓN DE LA PRUEBA .....	91

3.11.3	PROCEDIMIENTO .....	91
3.11.4	CÁLCULO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN.....	92
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>		<b>93</b>
4.1.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	94
4.2.	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN. ....	95
4.2.1	ETAPA I.....	95
4.2.2	ETAPA II.....	97
4.2.3	ETAPA III .....	105
4.3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN. ....	106
4.3.1	ETAPA I.....	106
4.3.2	ETAPA II.....	106
4.3.3	ETAPA III .....	111
4.4.	CONTRASTE DE HIPÓTESIS.....	112
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>113</b>
5.1.	CONCLUSIONES .....	114
5.2.	RECOMENDACIONES.....	115
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS. ....</b>		<b>116</b>
<b>ANEXOS. ....</b>		<b>121</b>
ANEXO I. PROPIEDADES FÍSICA Y MECÁNICA DE LOS AGREGADOS.....		121
ANEXO II. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I.....		128
ANEXO III. FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO SIKAMENT 290N. ....		129
ANEXO IV. FICHA TÉCNICA DE FIBRA DE POLIPROPILENO.....		133
ANEXO V. DISEÑO DE MEZCLAS. ....		135
ANEXO VI. ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN .....		154
ANEXO VIII. DATOS DE LABORATORIO .....		158
ANEXO IX. CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO. ....		166
ANEXO X. FICHA DE ENSAYO DE SUELOS DE LA SUBBASE DE LA LOSA DE CONCRETO PERMEABLE.....		167
ANEXO XI. PANEL FOTOGRÁFICO. ....		168

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Requisitos de granulometría para agregados gruesos.....	26
<b>Tabla 2.</b> Uso granulométrico del agregado fino. ....	28
<b>Tabla 3.</b> Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable. ....	30
<b>Tabla 4.</b> Valores máximos admisibles en el agua.....	35
<b>Tabla 5.</b> Datos técnicos de la fibra Polipropileno Chema Fibra Ultrafina.....	37
<b>Tabla 6.</b> Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el concreto. ....	48
<b>Tabla 7.</b> Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos... 52	
<b>Tabla 8.</b> Características estructurales de los materiales que componen las capas de base y subbase. ....	52
<b>Tabla 9.</b> Materiales y equipos para la clasificación.....	57
<b>Tabla 10.</b> Ensayo de color .....	57
<b>Tabla 11.</b> Ensayo de sacudimiento. ....	58
<b>Tabla 12.</b> Ensayo de rotura. ....	59
<b>Tabla 13.</b> Ensayo de plasticidad. ....	60
<b>Tabla 14.</b> Ensayo de brillo.....	61
<b>Tabla 15.</b> Calendario de mantenimiento de los pavimentos permeables.....	67
<b>Tabla 16.</b> Porcentaje de agregado grueso. ....	70
<b>Tabla 17.</b> Consistencia.....	73
<b>Tabla 18.</b> Tamaño máximo de agregado .....	74
<b>Tabla 19.</b> Peso Volumétrico seco compactado del agregado grueso b/b0.....	74
<b>Tabla 20.</b> Coordenadas de ubicación .....	77
<b>Tabla 21.</b> Propiedades de los aditivos. ....	83
<b>Tabla 22.</b> Diseño de mezclas de concreto permeable por m <sup>3</sup> .....	94
<b>Tabla 23.</b> Propiedades del concreto permeable. ....	94
<b>Tabla 24.</b> Resistencia a la compresión del DBI.....	95
<b>Tabla 25.</b> Resistencia a la compresión del ADBI.....	95
<b>Tabla 26.</b> Porcentaje de vacíos – Diseños sin aditivo plastificante. ....	96
<b>Tabla 27.</b> Resistencia a la compresión del DBII .....	97
<b>Tabla 28.</b> Resistencia a la compresión del ADBI.....	97
<b>Tabla 29.</b> Porcentaje de vacíos – Diseños sin aditivo plastificante. ....	98
<b>Tabla 30.</b> Resistencia a la compresión del ADBII-AD1.....	99
<b>Tabla 31.</b> Resistencia a la compresión a los 7 días del diseño ADBII-AD1. ....	99

<b>Tabla 32.</b>	Resistencia a la compresión a los 14 días del diseño ADBII-AD1. ....	100
<b>Tabla 33.</b>	Resistencia a la compresión a los 28 días del diseño ADBII-AD1. ....	100
<b>Tabla 34.</b>	Porcentaje de vacíos – Diseños con aditivo plastificante. ....	100
<b>Tabla 35.</b>	Resistencia a la compresión del ADBI.....	101
<b>Tabla 36.</b>	Resistencia a la compresión a los 7 días del diseño .....	102
<b>Tabla 37.</b>	Resistencia a la compresión a los 14 días del diseño .....	102
<b>Tabla 38.</b>	Resistencia a la compresión a los 28 días del diseño .....	103
<b>Tabla 39.</b>	coeficiente de permeabilidad del diseño ADBII-AD1-FPP1. ....	104
<b>Tabla 40.</b>	Tasa de infiltración de la losa de concreto permeable.....	105
<b>Tabla 41.</b>	Resistencia a la compresión del diseño ADBIII-AD1-FPP1.....	105
<b>Tabla 42.</b>	Análisis granulométrico del agregado fino.....	121
<b>Tabla 43.</b>	Análisis granulométrico del agregado grueso. ....	122
<b>Tabla 44.</b>	Contenido de humedad del agregado fino. ....	123
<b>Tabla 45.</b>	Contenido de humedad del agregado grueso.....	123
<b>Tabla 46.</b>	Peso unitario suelto del agregado fino.....	123
<b>Tabla 47.</b>	Peso unitario compactado del agregado fino.....	124
<b>Tabla 48.</b>	Peso específico y absorción del agregado grueso.....	124
<b>Tabla 49.</b>	Peso específico y absorción del agregado fino.....	125
<b>Tabla 50.</b>	Peso unitario suelto del agregado grueso. ....	125
<b>Tabla 51.</b>	Peso unitario compactado del agregado grueso.....	126
<b>Tabla 52.</b>	Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino.....	126
<b>Tabla 53.</b>	Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado grueso. ....	126
<b>Tabla 54.</b>	Abrasión del agregado grueso. ....	127
<b>Tabla 55.</b>	Propiedades de los agregados, aditivos, agua y cemento. ....	135
<b>Tabla 56.</b>	Resumen de datos de laboratorio de los diseños DBI y ADBI.....	154
<b>Tabla 57.</b>	Resumen de datos de laboratorio de los diseños DBII y ADBII.....	154
<b>Tabla 58.</b>	Resumen de datos de laboratorio de los diseños DBII-AD1 y ADBII-AD1- FPP1.....	155
<b>Tabla 59.</b>	Resultados de datos de laboratorio de la prueba “Descripción visual-manual de los suelos” (A.S.T.M.D – 2488).....	155
<b>Tabla 60.</b>	Resumen de datos de laboratorio del diseño II-ADBII-AD1. ....	156
<b>Tabla 61.</b>	Resumen de datos de laboratorio del diseño II-ADBII-AD1-FPP1. ....	157
<b>Tabla 62.</b>	Características del Cemento Pórtland tipo I.....	158
<b>Tabla 63.</b>	Dosificación de materiales sin aditivo y para un $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ .....	158
<b>Tabla 64.</b>	Muestras de concreto para ensayo a compresión.....	158
<b>Tabla 65.</b>	Dosificación de materiales con aditivo y para un $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ .....	159



<b>Tabla 66.</b> Muestras de concreto para ensayo a compresión.....	159
<b>Tabla 67.</b> Dosificación de materiales con aditivo polifuncional mas fibra de polipropileno y para un $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ .....	159
<b>Tabla 68.</b> Muestras de concreto para ensayo a compresión.....	159
<b>Tabla 69.</b> Dosificación de materiales con aditivo y para un $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ .....	160
<b>Tabla 70.</b> Dosificación de materiales con aditivo polifuncional mas fibra de polipropileno y para un $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ .....	160
<b>Tabla 71.</b> Cantidad de materiales para la losa de concreto permeable. ....	160
<b>Tabla 72.</b> coeficiente de permeabilidad del diseño ADBII-AD1-FPP1. ....	161
<b>Tabla 73.</b> Tasa de infiltración de la losa de concreto permeable.....	161
<b>Tabla 74.</b> Deformación Unitaria del diseño II-ADBII-AD1. ....	162
<b>Tabla 75.</b> Deformación Unitaria del diseño II-ADBII-AD1-FPP1. ....	164

## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Curvas envolventes según norma.....	29
<b>Figura 2.</b> Esquema de los patrones de tipos de fracturas.....	40
<b>Figura 3.</b> Relación entre peso volumétrico y la resistencia a la compresión para el concreto permeable. ....	41
<b>Figura 4.</b> Relación entre el contenido de aire y la filtración para el concreto permeable. ....	43
<b>Figura 5.</b> Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación. ....	47
<b>Figura 6:</b> Permeámetro de carga variable para medir la infiltración del concreto permeable.....	49
<b>Figura 7.</b> Sacudimiento de muestra húmeda. ....	58
<b>Figura 8.</b> Ensayo de rotura. ....	59
<b>Figura 9.</b> Ensayo de plasticidad.....	60
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de sección pavimento concreto permeable.....	64
<b>Figura 11.</b> Contenido de vacíos versus Percolación del concreto permeable.....	74
<b>Figura 12.</b> Contenido de vacíos versus Resistencia a compresión del concreto permeable.....	75
<b>Figura 13.</b> Contenido de pasta versus vacíos para agregados del huso granulométrico N° 67.....	75
<b>Figura 14.</b> Ubicación geográfica de la cantera Margarita. ....	77
<b>Figura 15.</b> Ubicación del terreno para el vaciado de la losa.....	89
<b>Figura 16.</b> Esquema de dimensiones del anillo de infiltración.....	90
<b>Figura 17.</b> Resistencia a la compresión del diseño base I sin aditivo plastificante. .	96
<b>Figura 18.</b> Resistencia a la compresión del diseño base II sin aditivo plastificante.....	98
<b>Figura 19.</b> Resistencia a la compresión del diseño base II con aditivo plastificante...	101
<b>Figura 20.</b> Resistencia a la compresión del diseño base II con aditivo plastificante y micro fibra de polipropileno.....	103
<b>Figura 21.</b> Resultados de la resistencia a la compresión promedio, de los diseños II-ADBII-AD1 y II-ADBII-AD1-FPP1. ....	108
<b>Figura 22.</b> Resultados de la resistencia a la compresión vs. % de vacíos. ....	109
<b>Figura 23.</b> Resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los diseños II-ADBII-AD1 y II-ADBII-AD1-FPP1. ....	109
<b>Figura 24.</b> Coeficiente de permeabilidad, del diseño II-ADBII-AD1-FPP1.....	110
<b>Figura 25.</b> Resultados obtenidos de la tasa de infiltración para la losa de concreto permeable.....	111

<b>Figura 26.</b> Resistencia a la compresión vs Peso unitario. ....	111
<b>Figura 27.</b> Curva granulométrica del agregado fino.....	121
<b>Figura 28.</b> Curva granulométrica del agregado grueso. ....	122
<b>Figura 29.</b> Esfuerzo vs. Deformación Unitaria del diseño ADBII-AD1. ....	163
<b>Figura 30.</b> Carga vs. Deformación Unitaria del diseño ADBII-AD1.....	163
<b>Figura 31.</b> Carga vs. Deformación Unitaria del diseño ADBII-AD1-FPP1.....	165
<b>Figura 32.</b> Carga vs. Deformación Unitaria del diseño ADBII-AD1-FPP1.....	165

## Índice de Abreviaturas

<b>ACI</b>	American Concrete Institute.
<b>ACI 522.1-08</b>	Especificaciones para Pavimentos de Concreto Permeable.
<b>ACI 522.R-10</b>	Reporte sobre concreto permeable.
<b>ASTM</b>	American Society for Testing and Materials.
<b>Cemento Portland</b>	Es un cemento hidráulico que cuando se mezcla con áridos, agua y fibras de acero tiene la propiedad de conformar una masa resistente y duradera denominada concreto.
<b>Infiltración</b>	Movimiento del agua a través de la superficie del suelo hacia el interior de la tierra.
<b>Nivel freático</b>	Nivel donde la presión de agua de un acuífero es igual a la presión atmosférica.
<b>NRMCA</b>	Nacional Ready Mixed Concrete Association.
<b>NTP</b>	Normas técnicas peruanas.
<b>Permeabilidad</b>	Capacidad que tiene un material de permitirle a un flujo que lo atraviese sin alterar su estructura interna.
<b>Revenimiento</b>	Es medir el hundimiento que sufre un tronco de cono de concreto fresco al retirarle el apoyo; para hacer esta prueba se usa un molde metálico, cuyas medidas son 30 cm de altura, 10cm en su base superior y 20 cm en su base de apoyo (llamado cono de Abrams).
<b>SIKAMENT 290N</b>	Es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.
<b>CHEMA FIBRA ULTRAFINA</b>	Son microfibras sintéticas de polipropileno recomendado como refuerzo del concreto.

## RESUMEN

La investigación realizada se centra en la evaluación de una losa de concreto permeable  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  vaciada in situ para su aplicación en la construcción de pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca. Las variables estudiadas son las propiedades del concreto permeable, tales como su resistencia a la compresión, contenido de vacíos y permeabilidad (parámetros de relevancia en éste tipo de concreto). Con el fin de obtener el diseño de mezcla del concreto permeable “óptimo”, se consideraron dos diseños de mezclas, en busca de las mejores características, como mayores valores de resistencia a la compresión y permeabilidades adecuadas. El desempeño estructural e hidráulico del concreto permeable es cuantificado a través de sus propiedades de resistencia y permeabilidad, respectivamente, para lo cual se realizó la construcción de un permeámetro de carga variable de acuerdo al ACI 522R-10, y a las pruebas de ensayo de ASTM. Parar ello, se evaluaron dos mezclas de concreto permeable. De cada mezcla se elaboraron 15 probetas de 6” x 12” para el ensayo de resistencia a la compresión (ASTM C39 y ACI 522R-10); 12 probetas para el ensayo de permeabilidad (ACI 522R-10). En el diseño de mezclas, ajuste del diseño base dos con aditivo polifuncional y fibra de polipropileno de código: II-ADBII-AD1-FPP1, presentó a los 28 días resistencias mecánicas de  $257.48 \text{ kg/cm}^2$  a compresión, el peso unitario  $1996.97 \text{ kg/m}^3$  y el módulo de elasticidad  $202092.62 \text{ kg/cm}^2$ . El coeficiente de permeabilidad  $2.31 \text{ mm/seg}$ , con un contenido de vacíos de  $17.47\%$  y la infiltración  $26714.78 \text{ mm/h}$ . Se concluye que el diseño de mezcla II-ADBII-AD1-FPP1-(15), cumple las condiciones estructurales (resistencia a la compresión) y de permeabilidad para ser usado en una losa de pavimento rígido en la ciudad de Cajamarca.

**PALABRAS CLAVES:** Concreto permeable, losa, pavimento rígido, resistencia a compresión, permeabilidad y módulo de elasticidad.

## ABSTRACT

The research carried out focuses on the evaluation of a permeable concrete slab  $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> emptied in situ for its application in the construction of rigid pavements in the city of Cajamarca. The variables studied are the properties of the permeable concrete, such as its compressive strength, vacuum content and permeability. (relevant parameters in this type of concrete). In order to obtain the mixing design of the "optimal" permeable concrete, two designs of mixtures were considered, looking for the best features, as higher values of compressive strength and adequate permeability. The structural and hydraulic performance of permeable concrete is quantified through its resistance and permeability properties, respectively, for which the construction of a variable load permeameter was carried out according to the ACI 522R-10, and ASTM test tests. To stop this, two mixtures of permeable concrete were evaluated. Of each mixture 15, 6 "x 12" test specimens were prepared for the compression resistance assay (ASTM C39 and ACI 522R-10); 12 test specimens for permeability testing (ACI 522R-10). In mixing design, two base design adjustment with polyfunction additive and polypropylene fiber code: II-ADBII-AD1-FPP1, presented at 28 days mechanical resistances of 257.48 kg/cm<sup>2</sup> to compression, the unit weight 1996.97 kg/m<sup>3</sup> and modulus of elasticity 202092.62 kg/cm<sup>2</sup>. The permeability coefficient 2.31 mm/sec, with a vacuum content of 17.47% and infiltration 26714.78 mm/h. It is concluded that the mix design II-ADBII-AD1-FPP1-(15), meets the structural conditions (compressive strength) and permeability to be used in a slab of rigid pavement in the city of Cajamarca.

**KEYWORDS:** Permeable concrete, slab, rigid pavement, compressive strength, permeability and modulus of elasticity.

# **CAPÍTULO I**

---

## **INTRODUCCIÓN**

## 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha registrado a nivel mundial un elevado impacto ambiental; generando como consecuencia cambios climáticos, obligando a impulsar la búsqueda de nuevos métodos de construcción sostenible, haciendo que cada vez más se utilicen materiales de tipo ecológico, entre los cuales se encuentra el concreto permeable que fue desarrollado en Japón desde los años 1980, desde entonces ha sido utilizado en diversas aplicaciones en Japón, Estados Unidos, Europa entre otros, sin embargo recientemente ha ganado mayor atención, debido a sus beneficios económicos y medioambientales, es un material para pavimentos que se denominan Sistema Urbano de Drenaje Sostenible (SUDS).

El concreto permeable se caracteriza por el adecuado manejo de las aguas pluviales, que permite infiltrar el agua a través de su estructura, favoreciendo la recarga de los mantos acuíferos, al mismo tiempo previniendo las inundaciones; pero debido a su alto contenido de vacío, presentan propiedades relativamente reducidos en comparación al concreto convencional (impermeable), es por esta razón el uso limitado de este material, en promedio la propiedad más relevante del concreto permeable que es la resistencia a compresión es de 175 kg/cm<sup>2</sup> (Córdova, 2016; C. E. Flores & Pacompía, 2015).

Debido a los cambios climáticos y aumento de las precipitaciones en nuestra ciudad, 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 los pavimentos rígidos, siendo este un problema en nuestro medio por la falta de aplicación de los conocimientos y métodos actuales.

Es por ello que ante la falta de concretos alternativos a los convencionales, se planteó con la investigación del concreto permeable, mejorar las propiedades del concreto permeable con la adición de aditivo polifuncional y fibras de polipropileno en el diseño de mezcla. Esto en el marco de desarrollo y construcción sostenible, para su uso en pavimentos rígidos.



## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cumple la losa de concreto permeable vaciada in situ con la resistencia y permeabilidad adecuada para su uso en pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca?

## **1.3. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

La losa de concreto permeable vaciada in situ, cumple con la resistencia y permeabilidad adecuada para su uso en pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca.

## **1.4. JUSTIFICACIÓN**

En nuestro país, la tecnología del concreto permeable todavía no se viene implementando como solución a los problemas acarreados por la evacuación de aguas pluviales y el uso generalizado de pavimento convencional (impermeable); no siendo el caso de otros países como, México, Colombia o Chile, donde se realizan estudios a nivel de pre y postgrado para lograr la inclusión de este tipo de concreto, la posibilidad de utilizar este material en Cajamarca, justifica esta investigación cuyo fin principal consiste en mejorar las propiedades, mediante la incorporación de aditivo polifuncional y fibra de polipropileno para una losa de concreto permeable, determinando si es adecuado para su aplicación en la construcción de pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca.

La presente investigación aportará información para utilizar una losa de concreto permeable, con un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y la adecuada permeabilidad.

Con los resultados obtenidos se podrá potenciar el uso del concreto permeable, mejorado con la adición de aditivo polifuncional y fibras de polipropileno, y de esta manera beneficiar a empresas privadas, municipios y otras entidades que ejecutan obras civiles de pavimentación, que requieran estudios de diseño de mezcla de concreto permeable.

## **1.5. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN.**

El presente trabajo de investigación es del tipo explicativo, el cual se enfoca principalmente en el análisis de las propiedades del concreto permeable,

para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , elaborado con cemento Pacasmayo tipo I, aditivo polifuncional (Sikament – 290N) y la adición de fibras de polipropileno (Chema Fibra Ultrafina), aplicado en una losa de pavimento rígido.

Para la aplicación de la losa de concreto permeable diseñado para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se debe diseñar un sistema de subdrenaje para utilizar en pavimentos rígidos.

## **1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.**

- ❖ Solo se realizó el estudio de suelos (limite líquido, limite plástico y análisis granulométrico), para la subbase de la losa de concreto permeable  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .
- ❖ Debido a que solo se evaluó la losa de concreto permeable, no se incluyó datos de compactación, densidad de campo y CBR de la base y subbase en dicha investigación.

## **1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.7.1 OBJETIVO GENERAL**

- Realizar la evaluación de una losa de concreto permeable  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  vaciada in situ para su aplicación en la construcción de pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca.

### **1.7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la resistencia a la compresión del concreto permeable diseñado para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .
- Determinar la permeabilidad del concreto permeable diseñado para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .
- Determinar la infiltración de la losa de concreto permeable vaciada in situ diseñado para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .
- Determinar las propiedades del concreto permeable diseñado para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  usando aditivo polifuncional y fibras de polipropileno.

## 1.8. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

- **CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.** Contiene el contexto y el problema (pregunta principal e hipótesis), la justificación o importancia de la investigación, los alcances de la investigación, los objetivos y la descripción de los contenidos de los capítulos.
- **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.** Contiene antecedentes teóricos de la investigación, bases teóricas y términos básicos.
- **CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.** Describe el procedimiento, métodos y técnicas.
- **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.** Describe, explica y discute los resultados siguiendo la secuencia de los objetivos planteados.
- **CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.** Para cada objetivo se establece las conclusiones más pertinentes.
- **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.**
- **ANEXOS.**

## **CAPÍTULO II**

---

### **MARCO TEÓRICO**

## **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.**

### **2.1.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES.**

- (Fernández Arrieta y Navas Carro, 2012) en su tesis: “Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad”, realizada en la Universidad de Costa Rica, facultad de ingeniería civil, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica 2008. Analizaron el efecto que tienen, sobre 19 mezclas de concreto permeable, la relación agua/cemento, la relación agregado grueso/cemento y el tipo de agregado grueso utilizado (procedencia y tamaño máximo). Los resultados obtenidos permitieron observar tendencias de comportamiento (tamaño de cilindros) entre las distintas propiedades y la resistencia y permeabilidad del material.
  
- (López Palacios, 2010). En su tesis: “Control de calidad y colocación de concretos permeables” concluyó que el concreto permeable es una alternativa viable como superficie de infiltración de escurrimientos y que al mismo tiempo cumple una función de pavimento de huso ligero, dando como resultado una herramienta que facilita la reducción de escurrimientos superficiales en áreas urbanas; así pues, consideró que los mayores beneficios del concreto permeable están en sus propiedades hidrológicas, además de su adaptabilidad lo hace de fácil aplicación, pues los aspectos básicos de esta tecnología son flexibles a cualquier zona geológica, así en zonas urbanas su aplicación se convierte en una solución ecológica que permite con gran facilidad el tratamiento de aguas pluviales antes de ser evacuadas del sitio.
  
- (Polanco Andrade y Sánchez Vega, 2012). En su tesis, Diseño hidráulico de losas en pavimento poroso rígido como estructuras complementarias al drenaje pluvial de Bogotá. Tras una revisión de los métodos de diseño existentes, la utilización de un método de diseño de pavimento poroso rígido adaptado a la carga hidrológica característica de una zona específica de Bogotá (Avenida 68 con calle 80) y teniendo en cuenta propiedades hidráulicas y de envejecimiento de una mezcla de pavimento probada en condiciones de laboratorio Gómez et al. (2010), con el fin de controlar las posibles inundaciones que se ocasionen en la zona.

### **2.1.2 ANTECEDENTES NACIONALES.**

- (Flores C. y Pacompia I. 2015). En su tesis, Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Puno. Analizaron, la incorporación de tiras de polipropileno (3 mm x 30 mm) en el diseño de mezcla de un concreto permeable diseñado para pavimentos  $f'c = 175 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Puno, mejora parcialmente las propiedades del mismo, específicamente su resistencia a la compresión. Se ha determinado que la adición de dichas tiras en dos porcentajes (de los tres estudiados), incrementa la resistencia a la compresión del concreto permeable.
- (González J. y Túllume D. 2015). En su tesis, Diseño de mezclas de concreto poroso para pavimentos de tránsito liviano, llegaron a la conclusión que; la mezcla óptima es de agregado grueso de 1/2" y relación a/c de 0.25, y se recomienda realizar diseño de mezclas para diámetro de agregados menores de 1/2" y relación a/c de 0.25 a 0.30.

### **2.1.3 ANTECEDENTES LOCALES.**

- (Aquino R. 2015). En su tesis, Diseño y aplicación de concreto ecológico con fibra de polipropileno para pavimentos rígidos; concluyendo que el diseño de mezclas final de concreto ecológico, cumple con los requerimientos mecánicos, permeables y de densidad, los cuales definen a un concreto permeable según las normas vigentes del ACI 211. 3R- 97 y ACI 522R-10, necesarias para el diseño de pavimentos rígidos en vías de bajo tránsito.
- (Benites J. 2014). En su tesis, características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera río Jequetepeque y el aditivo chemaplast, llegó a la conclusión que la resistencia del concreto permeable elaborado con agregados de la cantera río Jequetepeque- Chilete a la edad de 28 días es de  $77.05 \text{ kg/cm}^2$ , pero aun así se encuentra dentro del rango que define la norma ACI 522R-10.

## **2.2. BASES TEÓRICAS.**

### **2.2.1 CONCRETO PERMEABLE.**

El concreto permeable a diferencia del concreto convencional es fabricado con base en agregado grueso, cemento, agua y aditivos, y en algunos casos la mezcla es realizada con poca cantidad de arena como se verá reflejado en la investigación, este tipo de mezcla una vez es fundida drena con rapidez por la gran cantidad de poros y/o vacíos que se conectan formando vías de escape para líquidos como agua. El concreto permeable tiene algunas características diferentes que se deben tener en cuenta al momento de su fabricación, entre estas se encuentra la relación agua cemento (a/c) la cual debe ser baja ya que se debe evitar que la mezcla fluya y se llenen los vacíos; Por otro lado se encuentra el porcentaje de vacíos típico utilizando grava de 3/8 Pulg (10mm) que es del 15 al 25 %, mientras que el porcentaje de vacíos típico utilizando rocas de 1/2 Pulg (12mm) es de 30 a 40 por ciento ( Navas Carro y Fernández, 2011).

Es un material de estructura abierta con revenimiento cero, compuesto por cemento Portland, agregado grueso, poco o nada de finos, aditivo y agua. La combinación de estos ingredientes produce un material endurecido con poros interconectados, cuyos tamaños varían de 2 a 8 mm lo que permite el paso del agua. El contenido de vacíos puede variar de 18 a 35% con resistencia a la compresión típica de 2.8 a 28 MPa. (ACI 522R-10, citado por Pérez 2009).

### **2.2.2 LOS MATERIALES**

El concreto permeable, también conocido como concreto poroso, de granulometría discontinua, o de alta porosidad, consiste principalmente en cemento portland normal, agregado grueso de tamaño uniforme y agua. Esta combinación forma una aglomeración de agregados gruesos rodeados por una delgada capa de pasta de cemento endurecida en sus puntos de contacto. Esta configuración produce grandes huecos entre el agregado grueso, que permite que el agua se filtre en una cantidad mucho más alta que en el concreto convencional. El concreto permeable tiene poco, o nada de agregados finos en la mezcla. El porcentaje de huecos conectados entre sí permite el paso rápido del agua a través de la masa de concreto. (Toxement, 2017)

### 2.2.2.1 AGREGADOS.

La granulometría del agregado utilizado debe de ser de tamaño uniforme, comúnmente estas deben cumplir con la norma ASTM C 33, en la cual se especifica que sólo pueden ser utilizados agregados de  $\frac{3}{4}$ " a  $\frac{3}{8}$ ".

Los agregados finos y gruesos ocupan normalmente en un concreto convencional del 60% al 75% del volumen (70% a 85% en peso), en un concreto permeable el mayor constituyente viene a ser el agregado grueso, el agregado fino se limita a un porcentaje máximo de 15% (ACI 522.R-10).

Los agregados finos y gruesos deberán cumplir con los requisitos de la Norma ASTM C 33 y ASTM D 448.

#### AGREGADO GRUESO

##### a) DEFINICIÓN.

Las gradaciones más comunes de agregado grueso, utilizadas en concreto permeable, constituyen los tamices de tamaño de 9.5 a 2.36 mm del huso granulométrico N° 8, 12.5 a 4.75 mm del huso granulométrico N° 7 y 19.0 a 4.75 mm del huso granulométrico N° 67 (ACI 522.R-10).

El agregado grueso en concreto permeable refiere lo siguiente según Zevallos (2015):

1. A mayor tamaño de agregado grueso, aumenta en el concreto la permeabilidad y disminuye la resistencia.
2. Un agregado de un solo tamaño, aumenta en el concreto la porosidad y disminuye la resistencia.
3. Un agregado bien gradado, disminuye la porosidad en el concreto y en consecuencia aumenta la resistencia.

El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc.

❖ **Gravas.** Comúnmente llamados “canto rodado”, es el conjunto de fragmentos pequeños de piedra, provenientes de la disgregación, natural de las rocas, por acción del hielo y otros agentes atmosféricos, encontrándoseles corrientemente en canteras y lechos de ríos depositados de forma natural. Pesan de  $1600$  a  $1700\text{kg}/\text{m}^3$ .



❖ **Piedra partida o chancada.** Se denomina así, al agregado grueso obtenido por la trituración artificial de las rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea limpia, dura y resistente. Pesan entre 1450 a  $1500\text{kg}/\text{m}^3$ . (Abanto C.F.,1996, pág. 25)

El principio que justifica el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado o existe una mejor gradación de éste, se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas. (Campos C. R., 2009)

En estudios previos, se han utilizado en el diseño de mezcla de concreto permeable, tanto agregados de un solo tamaño, como clasificados de entre 3/4" y 3/8" (19 y 9.5 mm), también se han utilizado agregados redondeados o triturados; llegando a obtener resultados diversos en cuanto a permeabilidad y resistencia. (ACI 522-10).

En general, en los agregados deben ser evitadas las partículas largas o escamosas. Deben ser partículas duras y limpias, libres de recubrimiento como polvo, arcilla, o sustancias químicas absorbidas que puedan ser perjudiciales a la adherencia pasta - agregado o a la hidratación del cemento. (Rivera L.G., 2010).

#### **b) GRANULOMETRÍA.**

El agregado grueso deberá estar graduado dentro de los límites establecidos en la norma ITINTEC 400.037 o en la norma ASTM C33, los cuales están indicados en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Requisitos de granulometría para agregados gruesos.

HUSO	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1½ pulg)	25.0 mm (1 pulg)	19.0 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (¾ pulg)	4.75 mm (Nº 4)	2.36 mm (Nº 8)	1.18 mm (Nº 16)	300 µm (Nº 50)
1	90 mm. a 37.5 mm (3½ pulg a 1½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 15	...	...	...	...	...	
2	63 mm. a 37.5 mm (2½ pulg a 1½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	
3	50 mm. a 25.0 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	
357	50 mm. a 4.75 mm (2 pulg a Nº 4)	...	...	...	100	90 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	
4	37.5 mm. a 4.75 mm (1½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	
467	37.5 mm. a 4.75 mm (1½ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	
5	25 mm. a 12.5 mm (1 pulg a ½ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	
56	25 mm. a 9.5 mm (1 pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	
57	25 mm. a 4.75 mm (1 pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	
6	19.0 mm. a 9.5 mm (¾ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	0 a 5	...	...	
67	19.0 mm. a 4.75 mm (¾ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	
7	12.5 mm. a 4.75 mm (½ pulg a Nº 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	
8	9.5 mm. a 2.36 mm (¾ pulg a Nº 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	9.5 mm. a 1.18 mm (¾ pulg a Nº 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	
9	4.75 mm. a 1.18 mm (Nº 4 a Nº 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	

**Fuente:** ASTM C33

Los requisitos de granulometría del agregado grueso de las normas ASTM C 33 y NTP400.037, permiten límites amplios en la granulometría y una gran variedad de tamaños granulométricos. La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua y deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto con una adecuada trabajabilidad en función de las condiciones de colocación y uso de la mezcla.

**c) TAMAÑO MÁXIMO.**

El tamaño máximo de los agregados gruesos en el concreto armado se fija por la exigencia de que pueda entrar fácilmente en los encontrados y entre las barras de armadura. En ningún caso el tamaño máximo del agregado grueso deberá ser mayor que:

- Un quinto, de la menor dimensión, entre caras de encofrados.
- Un tercio de la altura de las losas.
- Tres cuartos del espacio libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, cables o ductos de presfuerzo. (Abanto C.F.,1996, pág. 26)

## **AGREGADO FINO**

### **a) DEFINICIÓN.**

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5mm. Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz # 4.

La función del agregado fino o arena en el concreto es de llenante, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto.

En el concreto permeable, el limitado uso de la arena reflejará aspereza en la mezcla y un exceso de arena demandará mayor cantidad de agua, producirá un asentamiento y disminuirá la permeabilidad. Entre más arena tenga la mezcla se vuelve más cohesiva y requiere mayor cantidad de agua por lo tanto se necesita mayor cantidad de cemento para conservar una determinada relación de agua-cemento, por lo cual la arena será limitadamente utilizada en el diseño de mezcla de concreto permeable.

Las especificaciones permiten que el porcentaje que pasa por el tamiz N° 50 esté entre 10% y 30%. Es de tener en cuenta, que la cantidad de agregado fino que pasa los tamices N° 50 y N° 100 intervienen en la manejabilidad, la facilidad para lograr buenos acabados, la textura superficial pero la exudación del concreto es mayor.

### **b) GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO**

Los requisitos de las normas ASTM C33, NTP400.037, permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino. La granulometría más deseable para el agregado fino depende del tipo de obra. En general, si se mantiene constante la relación agua-cemento y se elige correctamente la relación agregado fino agregado grueso, se puede usar un amplio rango de granulometrías, sin efectos considerables sobre la resistencia. Sin embargo, algunas veces, se logrará la mayor economía con el ajuste de la mezcla de concreto para que se adapte a la granulometría de los agregados locales.

La granulometría de los agregados finos de acuerdo con las normas ASTM C33 y NTP400.037, es generalmente satisfactoria para la mayoría de los concretos.

Los requerimientos se dan en la siguiente tabla.

**Tabla 2.** Uso granulométrico del agregado fino.

MALLA		PORCENTAJE QUE PASA (ACUMULATIVO)		
3/8"	9.5 mm			100
N°4	4.75 mm	95	a	100
N°8	2.36 mm	80	a	100
N°16	1.18 mm	50	a	85
N°30	600 μm	25	a	60
N°50	300 μm	10	a	30
N°100	150 μm	2	a	10

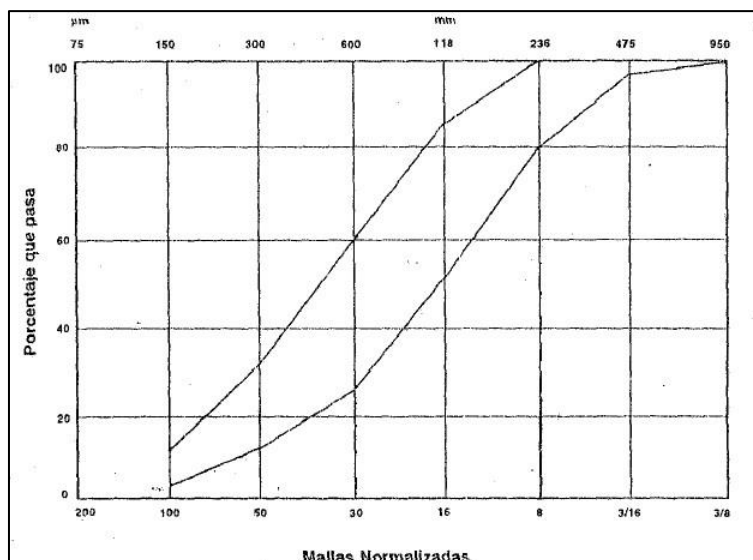
**Fuente:** ASTM C33

El control de la granulometría se aprecia mejor mediante un gráfico, en la que las ordenadas representan el porcentaje acumulado que pasa la malla, y las abscisas, las aberturas correspondientes. La figura 2 representa las curvas envolventes de la norma. La norma ASTM, exceptúa los concretos preparados con más de  $300\text{kg}/\text{m}^3$  de los porcentajes requeridos para el material que pasa las mallas N°50 y N°100 que, en este caso puede reducirse a 5% y 0% respectivamente. Esta posición se explica porque el mayor contenido de cemento contribuye a la plasticidad del concreto y la compacidad de la pasta, función que cumple el agregado más fino. (Abanto C.F.,1996)

El módulo de finura del agregado fino utilizado en la elaboración de mezclas de concreto, deberá estar entre 2.3 y 3.1, para evitar segregación del agregado grueso cuando la arena es muy fina y cuando la arena es muy gruesa se obtienen mezclas ásperas. (Abanto C.F.,1996)

Los tamices especificados que deben usarse en la determinación del módulo de finura son: N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4", 1 1/2", 3" y el módulo de finura será:

$$MF = \frac{\sum \%ret. acum(3" + 1 1/2" + 3/4" + 3/8" + N°4 + N°8 + N°16 + N°30 + N°50 + N°100)}{100}$$



**Figura 1.** Curvas envolventes según norma.  
**Fuente:** ASTM C33

Además, la norma prescribe que la diferencia entre el contenido que pasa una malla y el retenido en la siguiente, no debe ser mayor del 45% del total de la muestra. De esta manera, se tiende a una granulometría más regular. Para que el concreto tenga una adecuada trabajabilidad, las partículas de agregado grueso deben estar espaciadas de manera tal que puedan moverse con relativa, durante los procesos de mezclado y colocación. En ese sentido, el agregado fino actúa como lubricante del agregado grueso, ayudándolo a distribuir en toda su masa. (Abanto C.F.,1996)

Existen limitaciones en la proporción de agregado fino no triturado a emplear en las mezclas, la cual se señala como una proporción máxima no superior al 10% de la masa total del agregado combinado y sin que supere el porcentaje de agregado fino triturado empleado en la mezcla, la limitación de la cantidad de arena rodada o no triturada que puede incorporarse a la mezcla, se hace por temor a una disminución de la rigidez final de ésta. (Padilla R.A.,2009, pág. 13)

**Tabla 3.** Influencia de los Agregados en el Concreto Permeable.

Características de los agregados	Aspectos influidos en el concreto	
	Concreto Fresco	Concreto Endurecido
Granulometría	Manejabilidad Requerimiento de agua	Resistencia Mecánica Economía
Limpieza(materia orgánica, limo, arcilla y otro fines indeseables)	Requerimiento de agua	Durabilidad Resistencia Mecánica
Densidad (Gravedad Específica)	Perdida de agua en la mezcla	Resistencia Mecánica Permeabilidad
Forma de Partículas	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia Mecánica Economía
Textura Superficial	Trabajabilidad Requerimiento de agua	Resistencia Mecánica Resistencia al desgaste Economía
Tamaño Máximo	Segregación Peso Unitario Requerimiento de agua	Resistencia Mecánica Peso Unitario Permeabilidad Economía
Resistencia a la Abrasión	Ninguno	Resistencia a la abrasión Durabilidad
Coefficiente de Expansión Térmica	Ninguno	Propiedades térmicas

**Fuente:** Normas ASTM C33-03, ASTM C1688-09, ASTM C131-07, ASTM C29-07

### 2.2.2.2 CONTENIDO DE HUMEDAD.

#### 2.2.2.2.1 Fórmula para determinar el contenido de humedad.

El contenido de humedad en los agregados se calculó mediante la utilización de la siguiente fórmula:

$$W\% = \frac{Ps - Ph}{Ph} * 100 \dots \dots \dots (Ec. 1)$$

Donde:

W%: contenidos de humedad (%)

Ps: masa inicial de la muestra o muestra húmeda.

Ph: masa final de la muestra o muestra seca.

#### 2.2.2.2.2 Procedimiento.

Para determinar el contenido de humedad W% del agregado fino y agregado grueso, se realizó los procedimientos establecidos en la norma ASTM D2216.

- ❖ Se Seleccionó una muestra representativa por cuarteo.
- ❖ Se determinó la masa de la muestra.

- ❖ En un recipiente, se anotó su identificación y determino su peso.
- ❖ Se pesó la muestra húmeda más el recipiente que lo contiene.
- ❖ Se colocó la muestra más la tara en el horno a una temperatura constante de 110°C por un periodo de 24hrs.
- ❖ Luego se retiró la muestra del horno y dejarla enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente, y pesar la muestra seca más el recipiente.

### 2.2.2.3 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO.

#### 2.2.2.3.1 Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso.

La muestra a utilizarse debe rechazar todo el material pasante de la malla N°4 lavando o removiendo todo el polvo u otros recubrimientos de la superficie. Si el material contiene una cantidad significativa de agregado fino pues entonces en vez de usarse la malla N°4 se usará la malla N°8.

#### a) Procedimiento:

- Se lavó la muestra hasta eliminar el polvo, luego se secó en el horno.
- Se esperó que enfrié hasta una temperatura cómoda al tacto y que la muestra tenga un peso constante.
- Se dejó la muestra en agua por un par de horas, luego de ello se secó partículas sobre una tela, hasta eliminar el agua superficial, en esto obtuvo el estado saturado superficialmente seco (SSS).
- Se determinó la masa de la muestra en el aire en su estado SSS.
- Se colocó la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determinó su peso sumergido en agua.
- Después de ello se colocó la muestra en el horno y se deja reposar por 24 horas, luego se retiró y se dejó enfriar.

#### a) Fórmulas:

Peso específico de masa:  $Pe = \frac{A}{B-C}$  ... .. Ec. 2

Peso específico saturado superficialmente seco:  $Pe = \frac{B}{B-C}$  ... .. Ec. 3

Peso específico aparente:  $Pe = \frac{A}{A-C}$  ... .. Ec. 4

Absorción: 
$$Pe = \frac{B-A}{A} * 100 \dots\dots \text{Ec. 5}$$

Donde:

A: Peso seco en el aire

B: Peso de la muestra saturado superficialmente seco

C: Peso de la muestra en el agua

**2.2.2.3.2 Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino.**

**a) Procedimiento:**

- ❖ Se seleccionó por cuarteo 500g de muestra y se llevó en el horno, luego se dejó enfriar a una temperatura cómoda al tacto, una vez seca se repite el proceso hasta tener un peso constante.
- ❖ Se cubrió a la muestra completamente con agua, por 24hrs.
- ❖ Terminando se decantó la muestra evitando la pérdida de finos, luego de ello se secó su superficie con una moderada corriente de aire caliente, para asegurarnos de ello, se hizo la prueba del cono, llenándolo y dándole 25 golpes.
- ❖ Luego se introdujo la muestra en el picnómetro de 500g del agregado fino, y se añadió agua hasta los 500cm<sup>3</sup>, determinado el agua introducida, luego se sacó el material del recipiente y se secó determinado su peso.

**b) Fórmulas:**

Peso específico de masa: 
$$Pe = \frac{W_0}{V-V_a} \dots\dots\dots \text{Ec. 6}$$

Peso específico de masa saturada de superficie seca: 
$$Pe = \frac{500}{V-V_a} \dots\dots\dots \text{Ec. 7}$$

Peso específico aparente: 
$$Pe = \frac{W_0}{(V-V_a)-(500-W_0)} \dots \text{Ec. 8}$$

Absorción: 
$$Pe = \left( \frac{500-W_0}{W_0} \right) * 100 \dots\dots \text{Ec. 9}$$



Donde:

Wo: peso en el aire de la muestra secada

V: volumen del frasco

Vo: peso del agua añadida al frasco

#### **2.2.2.4 MATERIAL CEMENTANTE.**

El cemento Portland para la elaboración del concreto permeable, debe satisfacer las normas ASTM C 150, ASTM C 595 o ASTM C 1157. El material cementante tiene como función principal, aglomerar las partículas gruesas. El cemento Portland puede ser sustituido por ceniza volante, cemento de escoria granulada y humo de sílice (Hidrocreto 2015).

Finalmente, el humo de sílice, es un conglomerado hidráulico que resulta de la molienda conjunta de Clinker Portland y mayoritariamente escoria granulada de alto horno y sulfato de calcio, los cuales deben satisfacer los requisitos de las normas ASTM C 618, ASTM C 989, y ASTM C 1240, respectivamente, dando como resultado diferentes propiedades al concreto permeable y respondiendo a diferentes necesidades (Hidrocreto 2015).

Es importante controlar la cantidad de material cementante agregada a la mezcla, debido a que una mayor dosis de cementante generará un concreto más resistente, pero ocasionará una disminución en el porcentaje de vacíos interconectados dentro del concreto, perdiendo su capacidad de infiltración. Para la correcta dosificación de material cementante es recomendable utilizar una cantidad que oscile entre los 270 a 415 kg/m<sup>3</sup>, según los requisitos de resistencia y permeabilidad. (ACI 522.R. 2010).

Para la investigación se usó el cemento Portland Tipo I de Cementos Pacasmayo, que es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales.

### 2.2.2.5 AGUA.

Dentro de la fabricación del concreto permeable, el agua es un líquido que está presente de manera importante en la elaboración de la mezcla, en el lavado de agregados, curado y riego del concreto, por lo que debe ser un insumo limpio, libre de aceite, ácidos, álcalis, sales y en general de cualquier material que pueda ser perjudicial, según su utilidad. Por lo que la calidad del agua debe cumplir con la norma ACI 301.

Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante de los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional es una masa que queda dentro de la mezcla y cuando se fragua el concreto va a crear porosidad, razón por la que en un concreto convencional si se requiera una mezcla bastante fluida no se logra con agua, sino agregando aditivos plastificantes. (Meza A.Y.,2010)

En cuanto a la dosificación, el concreto permeable debe ser proporcionado con una relación agua-cemento relativamente baja, ya que una cantidad excesiva de agua conducirá a drenar pasta y al atascamiento del sistema de poros. Por lo que la cantidad de agua agregada debe ser controlada y supervisada cuidadosamente. En caso de tener que usar en la dosificación del concreto, agua no potable o de calidad no comprobada, debe hacerse con ella cubos de mortero, que deben tener a los 7 y 28 días un 90% de la resistencia de los morteros que se preparen con agua potable. (Meza A.Y.,2010)

El límite permitido de la cantidad de sustancias dañinas que se encuentran en el agua y que inciden en la calidad del concreto son:

- El agua que contenga menos de 2,000 p.p.m. de sólidos disueltos generalmente es apta para concreto; si tiene más de esta cantidad debe ensayarse para determinar sus efectos sobre la resistencia del concreto.
- Si se registra presencia de carbonatos y bicarbonatos de sodio o de potasio en el agua de la mezcla, estos pueden reaccionar con el cemento produciendo rápido fraguado; en altas concentraciones también disminuyen la resistencia del concreto.

- El agua que contenga hasta 10,000 p.p.m. de sulfato de sodio, puede ser usada sin problemas para el concreto.
- Las aguas acidas con pH por debajo de 3, pueden crear problemas en el manejo y deben ser evitadas en lo posible.
- Cuando el agua contiene aceite mineral (petróleo), en concentraciones superiores a 2%, pueden reducir la resistencia del concreto en un 20%.
- Cuando la salinidad del agua del mar es menor del 3.5%, se puede utilizar en concretos no reforzados y la resistencia del mismo disminuye en un 12%, pero si la salinidad aumenta al 5%, la reducción de la resistencia es del 30%. (Meza A.Y.,2010)

Del mismo modo, el agua del curado tiene por objeto mantener el concreto saturado para que se logre la casi total hidratación del cemento, permitiendo el incremento de la resistencia, por tanto, las sustancias presentes en el agua para el curado pueden producir manchas en el concreto y atacarlo causando su deterioro, dependiendo del tipo de sustancias presentes. (Vélez. L. M., 2010).

**Tabla 4.** Valores máximos admisibles en el agua.

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALORES MAXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles	1500 ppm
P.H.	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

**Fuente:** Diseño de mezclas – Enrique Rivva López

#### **2.2.2.6 ADITIVOS.**

Según ensayos realizados en el área de aditivos para concreto permeable por el Comité ACI 522, se recomienda aditivos químicos retardadores de fragua, reductores de agua de alto rango y plastificantes que deben cumplir las especificaciones de la Norma ASTM C 494.

Se usará un aditivo polifuncional para concretos denominado Sikament®-290N, que se utilizará como plastificante, de tal manera poder tener una trabajabilidad adecuada y una fácil colocación. Posee un peso específico 1.20 n $\pm$  0.02 kg/L y cumple con la Norma ASTM C 494.

Con la incorporación del aditivo a la mezcla de concreto permeable, se mejora trabajabilidad, se controla la exudación en estado fresco, se controla el tiempo de fraguado, se mejora la resistencia inicial de la pasta de cemento y se mejora la durabilidad en estado endurecido.

Al incorporar aditivo a la mezcla de concreto permeable, se tendrá en cuenta que el aditivo como tal mejorará la impermeabilidad, por lo cual se deberá elegir cuidadosamente la proporción a utilizar en el diseño de mezcla.

En la selección de la cantidad de aditivo por unidad cubica de concreto se tendrán en consideración las recomendaciones del fabricante; las propiedades que se desea obtener en el concreto; las características de los agregados; la resistencia a la compresión de diseño; condiciones ambientales y de trabajo en obra; el procedimiento de colocación; y los resultados de los ensayos de laboratorio y obra. (Rivva E., 2007, pág.32)

#### **2.2.2.7 FIBRAS SINTÉTICAS**

La norma ASTM C 1116, define las fibras como filamentos finos y elongados en forma de haz, malla o trenza, de algún material natural o manufacturado que pueda ser distribuido a través de una mezcla de concreto fresco. A su vez, ACI 544 considera como fibras para el concreto, los filamentos discontinuos de acero, fibras sintéticas, de vidrio y naturales.

El avance de la tecnología ha permitido crear una gran cantidad de materiales sintéticos, tras la idea de reforzar los materiales constructivos, similar a la observada en el adobe, y así dar refuerzo discontinuo a hormigones y morteros. (Revista Construcción, 2006)

**Tabla 5.** Datos técnicos de la fibra Polipropileno Chema Fibra Ultrafina.

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Gravedad Específica	0.91	gr/cm <sup>3</sup>
Punto de Fusión	160	°C
Punto de Ignición	590	°C
Resistencia a la Tensión	70	ksi
Longitud	13 & 19	mm
Módulo de Elasticidad	1230	ksi
Denier	0.9	

**Fuente:** Hoja técnica de la fibra de polipropileno Chema Fibra Ultrafina.

La fibra de polipropileno es un elemento de adición al concreto permeable, que tiene el objetivo de controlar la fisuración plástica por secado, especialmente en elementos de sección esbelta (como muros delgados) o superficies expuestas a la evaporación (losas), mejorando el acabado de los elementos vaciados y disminuyendo la presencia de fisuras en la superficie (Unicon).

En la presente investigación se usará la metodología del ACI 544 para Concreto reforzado con fibras (Concreto Fibroreforzado). El American Concrete Institute (ACI) define al Concreto Fibroreforzado como un material compuesto, hecho de una matriz de concreto hidráulico de una fase reforzante de fibras.

## **2.2.3 PROPIEDADES DEL CONCRETO**

### **2.2.3.1 TRABAJABILIDAD**

Es aquella propiedad del concreto en estado no endurecido, la cual determina su capacidad para ser manipulado, transportado, colocado, y consolidado adecuadamente, con un mínimo de trabajo y un máximo de homogeneidad; así como para ser acabado sin que presente segregación. Esta definición involucra conceptos tales como capacidad de moldeo, cohesividad y capacidad de compactación. Igualmente, la trabajabilidad involucra el concepto de fluidez, con énfasis en la plasticidad y uniformidad dado que ambas tienen marcada influencia en el comportamiento y apariencia final de la estructura. (Rivva. L.E., 2007, pág.37)

### 2.2.3.2 CONSISTENCIA

La consistencia del concreto es una propiedad que define la humedad de la mezcla por el grado de fluidez de la misma; entendiéndose con ello que cuando más húmeda es la mezcla, mayor será a facilidad con la que el concreto fluirá durante su colocación. Así, por ejemplo, una mezcla muy trabajable para pavimento puede ser muy consistente, en tanto que una mezcla poco trabajable en estructuras con alta concentración de acero puede ser de consistencia plástica. (Rivva. L.E., 2007, pág.40)

Las Normas clasifican al concreto no endurecido de acuerdo a su consistencia en tres grupos:

- Concretos consistentes o secos: son definidos como aquellos los cuales tienen la cantidad de agua necesaria para tener humedad superficial, para luego de vibrado, este concreto quede blando y unido.
- Concretos plásticos: son definidos como aquellos que contienen el agua necesaria para dar al agua una consistencia pastosa.
- Concretos fluidos: son aquellos que han sido amasados con tanta agua que la mezcla fluye como una pasta blanda.

En la actualidad se acepta una correlación entre la norma alemana y los criterios norteamericanos, considerándose que:

- ❖ A las consistencias secas corresponde asentamientos de 0” a 2” (0 mm a 50 mm).
- ❖ A las consistencias plásticas corresponden de 3” a 4” (75 mm a 100 mm)
- ❖ A las consistencias fluidas corresponden asentamientos de más de 5” (125 mm). (Rivva. L.E., 2007, pág.40)

### 2.2.3.3 RESISTENCIA

La resistencia del concreto es definida como el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin romperse. Dado que el concreto está destinado principalmente a tomar esfuerzos de compresión, es la medida de su resistencia a dichos esfuerzos la que se utiliza como índice de su calidad.

Cuando se estudian los procedimientos para dosificar mezclas de concreto, se recomienda hacer mezclas de prueba, con el fin de determinar las proporciones del hormigón que cumplan con las características deseadas, para ser empleado

en la construcción. Sin embargo, esto no significa, que el hormigón hecho en la obra o en la planta vaya a tener una resistencia uniforme e igual a la determinada con base en las mezclas de prueba. (Rivera L.G., 2010, pág.121)

Lo anterior se debe a que el concreto es un material esencialmente heterogéneo, porque sus componentes tienen características que no son constantes. No sólo son los materiales los causantes de las variaciones en la calidad del hormigón; también influye la forma de mezclarlo, su transporte y colocación en formaletas, la compactación a que se someta y el curado que se le proporcione. Por las razones anteriores, es necesario tomar las precauciones adecuadas para que la calidad del material producido, sea aceptable.

La medida final que informa sobre la calidad obtenida, es la que resulta de los ensayos de resistencia. Aquí surge otra variable, pues la forma de hacer los ensayos y la precisión de la máquina que se use, van a influir en los resultados. La resistencia de un concreto, normalmente aumenta con la edad. Dicho aumento se produce muy rápidamente durante los primeros días posteriores a su colocación, resultando más gradual al transcurrir el tiempo, aún continuará incrementándose en una proporción más reducida durante un período de tiempo indefinido. La resistencia a compresión de un concreto a los 28 días, determinada de acuerdo con los ensayos normalizados y suponiendo que haya sido curado en forma correcta, se emplea generalmente como índice de calidad del mismo. (Rivera L.G., 2010, pág.121)

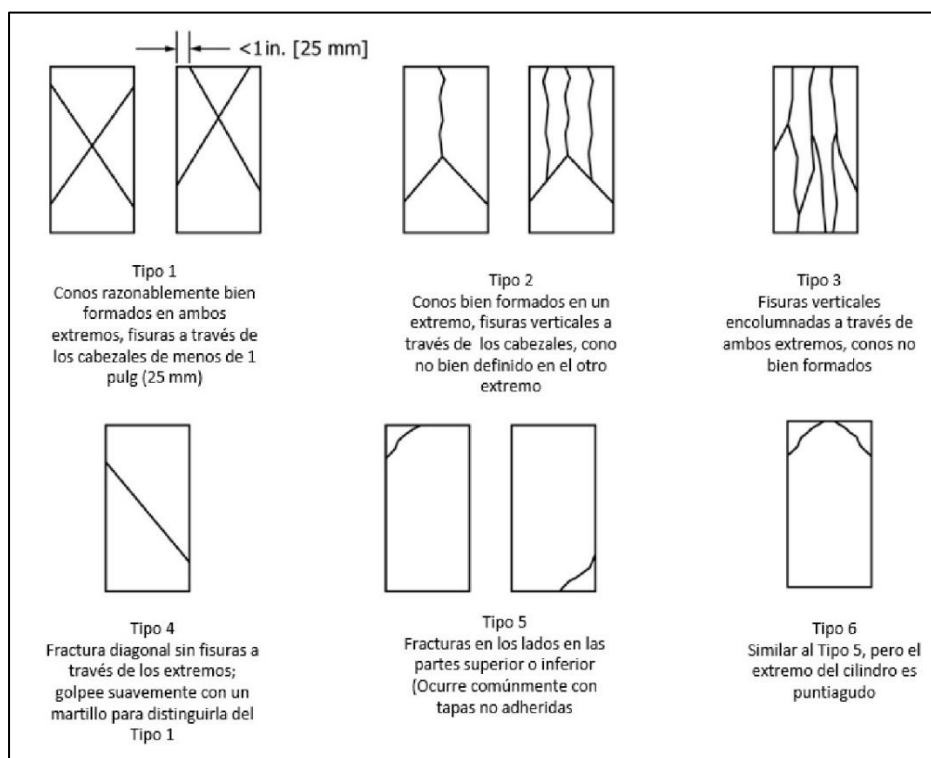
#### **b) Resistencia a la compresión:**

Este ensayo consiste en aplicar una carga de compresión axial a los cilindros moldeados o extracciones diamantinas a una velocidad normalizada en un rango prescrito mientras ocurre la falla. La resistencia a la compresión de la probeta es calculada por división de la carga máxima alcanzada durante el ensayo, entre el área de la sección recta de la probeta. Se deberá tener cuidado en la interpretación del significado de las determinaciones de resistencia a la compresión por este ensayo considerando que los valores obtenidos dependerán del tamaño y forma de la probeta, tanda, proceso de mezclado, método de muestreo, moldeo y elaboración, edad, temperatura y condiciones

de humedad durante el curado. Este ensayo es usado para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas preparadas y curadas de conformidad con las normas NTP 339.033, NTP 339.183, NTP 339.037 y NTP 339.216.

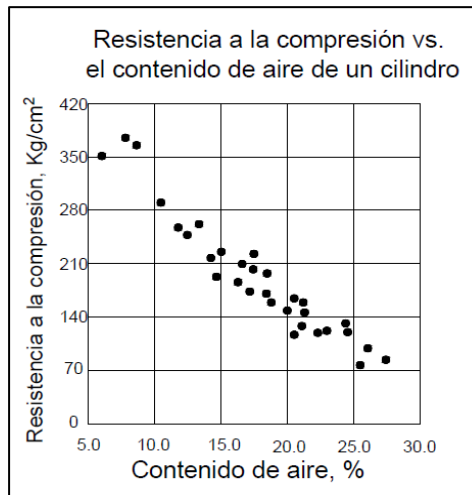
Los resultados de este ensayo son usados como una referencia para el control de calidad del concreto, proporciones, mezclado y operaciones de colocación; determinación del cumplimiento con las especificaciones; control para evaluación de la efectividad de los aditivos; y usos similares.

El personal que ensaya los cilindros de concreto deberá cumplir los requisitos técnicos requeridos, incluyendo un examen de desarrollo del ensayo evaluado por un examinador independiente. La máquina de ensayo será de capacidad conveniente suficiente y capaz de proveer una velocidad de carga indicada en 8.5. (NTP 339.034., 2008, pág.1-11)



**Figura 2.** Esquema de los patrones de tipos de fracturas.  
**Fuente:** NTP 339.034, 2008.





**Figura 3.** Relación entre peso volumétrico y la resistencia a la compresión para el concreto permeable.

**Fuente:** Mulligan 2005.

**c) Resistencia a la tensión:**

El concreto posee muy baja resistencia a la tensión y por lo tanto esta propiedad no se tiene en cuenta en el diseño de estructuras normales. Sin embargo, la tensión tiene importancia en el agrietamiento del concreto debido a la restricción de la contracción inducida por el secado o por disminución de la temperatura. Los concretos preparados con agregados livianos, se encogen considerablemente más que los normales y por lo tanto la resistencia a la tensión puede ser tenida en cuenta en el diseño de la estructura correspondiente. La resistencia a la tensión es difícil de medir por medio de ensayos directos, debido a las dificultades para montar las muestras y las incertidumbres que existen sobre los esfuerzos secundarios inducidos por los implementos que sujetan las muestras. (Rivera L.G., 2010, pág.131)

Para evitar este problema existe un método indirecto, en el cual la resistencia a la tensión se determina cargando a compresión el cilindro estándar de 15 cm de diámetro por 30 cm de longitud, a lo largo de dos líneas axiales diametralmente opuestas; los listones diametrales de apoyo deben ser dos tiras de cartón o de madera laminada, libres de imperfecciones, de 3 mm de espesor y 25 mm de ancho aproximadamente. (Rivera L.G., 2010, pág.132)

La elaboración y curado de los cilindros se realiza en forma similar al ensayo de resistencia a la compresión; la velocidad de aplicación de la carga debe ser de 7 a 15 kg/cm<sup>2</sup>/min. La resistencia a la tensión indirecta se calcula con la siguiente ecuación:

$$BT = \frac{2P}{\pi LD} \dots \dots \dots (Ec. 10)$$

Donde:

RT: resistencia a la tracción o tensión indirecta de un cilindro en *kg/cm<sup>2</sup>*.

P: carga máxima aplicada en kg.

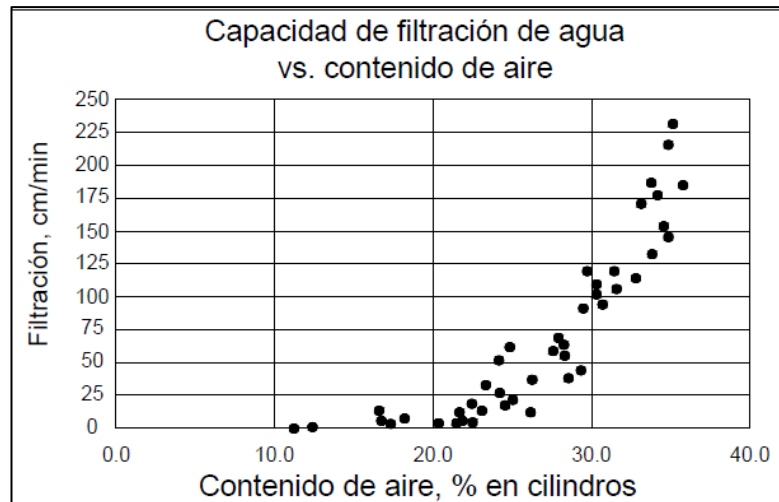
L: longitud del cilindro en cm.

D: diámetro del cilindro en cm.

(Rivera L.G., 2010, pág.132)

#### **2.2.3.4 CAPACIDAD DE FILTRACIÓN**

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar el agua a través de la matriz. La capacidad de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de huecos de aire. Las pruebas han demostrado (Meininger 1988) que se requiere un contenido mínimo de huecos de aire aproximadamente el 15% para lograr una filtración significativa. La figura 6 (Meininger 1988) muestra la relación entre contenido de huecos de aire y la capacidad de filtración de una mezcla de concreto permeable. Puesto que la capacidad de filtración se incrementa a medida que se incrementa el contenido de huecos de aire y, consecuentemente disminuye la resistencia a la compresión, el reto en el proporcionamiento de una mezcla de concreto permeable consiste en lograr un equilibrio entre una capacidad de filtración aceptable y una resistencia a la compresión también aceptable. (Meininger, 1988)



**Figura 4.** Relación entre el contenido de aire y la filtración para el concreto permeable.

**Fuente:** Meininger 1988, 1psi = 0.006895MPa.

### 2.2.3.5 PESO UNITARIO DEL CONCRETO

Se define como densidad del concreto a la relación del volumen de sólidos al volumen total de una unidad cúbica. Puede también entenderse como el porcentaje de un determinado volumen del concreto que es material sólido. El peso unitario del concreto es el peso varillado de una muestra representativa del concreto. Se expresa en kilos por metro cúbico. La gravedad específica y la cantidad de cada agregado deberán afectar el peso unitario resultante de la mezcla fresca. Con agregados de alta porosidad el peso unitario del concreto puede variar dependiendo de si la absorción ha sido satisfecha por pre humedecimiento del agregado antes de la dosificación. El peso unitario de los concretos livianos, preparados ya sea con agregado grueso natural o artificial de baja gravedad específica puede estar en valores de 480 a 1600 kg/m<sup>3</sup>. El peso unitario de los concretos pesados, preparados ya sea con agregado grueso natural o artificial de alta gravedad específica, puede elevarse hasta los 5,000 kg/m<sup>3</sup>. (Rivva. L.E., 2004, pág.213)



fuese grava utilizamos los dedos de la mano y en el caso de la arena nos auxiliamos de un enrazado.

❖ Finalmente se pesó el recipiente con el material.

**b) fórmula:**

Peso unitario compactado:

$$P_{uc} = \frac{(Peso\ del\ material+recipiente)-(Peso\ del\ recipiente)}{Volumen\ del\ recipiente} \dots\dots\dots Ec. 12$$

**2.2.3.8 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO**

El módulo de elasticidad del concreto depende del módulo de elasticidad y relación de Poisson del agregado. Tanto en compresión como en tensión la curva esfuerzo - deformación para las rocas tiene una relación prácticamente lineal, indicando que el agregado es razonablemente elástico. Por otra parte, el mortero tiene una relación esfuerzo-deformación curvada cuando los esfuerzos exceden del 30% de la resistencia última. Ello es debido al comportamiento no lineal de la pasta y a la formación de grietas de adherencia y deslizamiento en la interface agregado-pasta. Debido a ello no hay una relación simple entre los módulos de elasticidad del concreto y el agregado. Las investigaciones han permitido determinar que el módulo de elasticidad del concreto es una función del módulo de elasticidad de sus constituyentes y que, para una pasta dada, el módulo de elasticidad del agregado tiene un efecto menor sobre el módulo de elasticidad del concreto que aquel que puede ser estimado a partir de las proporciones volumétricas del agregado en el concreto.

Así se optó por calcular el módulo de elasticidad con la fórmula teórica, que relaciona la resistencia a compresión del concreto con el módulo de elasticidad del mismo según el método ACI 318S.

Según el ACI 318S:

$$E = W_c^{1.5} 4270\sqrt{f'_c}$$

Ecuación 13. Módulo de elasticidad según el ACI 318 S

Dónde:

$E_c$  = Módulo de elasticidad, kg/cm<sup>2</sup>

$W_c$  = Densidad del concreto, Tn/m<sup>3</sup>

$F'_c$  = Resistencia a la compresión del concreto, kg/cm<sup>2</sup>

En general, conforme el módulo de elasticidad del agregado se incrementa ocurre lo mismo con el del concreto, por lo que conforme el volumen de agregado se incrementa el módulo de elasticidad del concreto deberá aproximarse al del agregado. En general se recomienda que cuando el módulo de elasticidad del concreto puede ser conocido en forma bastante segura, se realicen ensayos en concreto en vez de calcular el módulo de elasticidad a partir de las propiedades del agregado. (Rivva L.E, 2004, pág.246).

#### **2.2.3.9 DURABILIDAD**

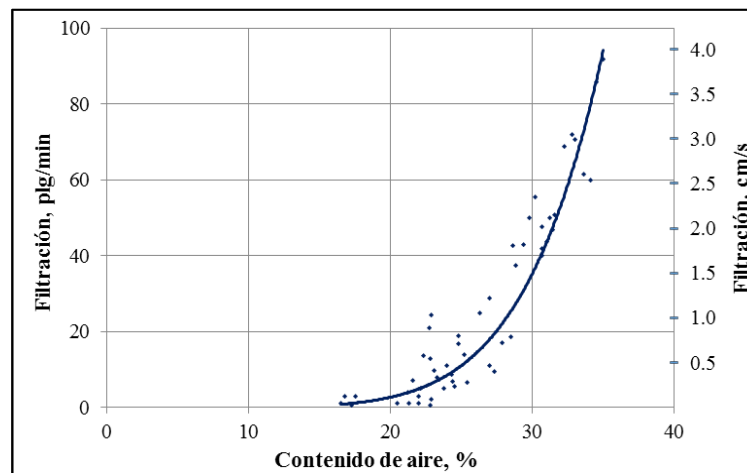
Han surgido preguntas de durabilidad del concreto permeable al hielo y deshielo. Al concreto permeable en ambientes de congelamiento no se le debe permitir que se sature completamente. Pruebas de congelación y descongelación del concreto permeable indican pobre durabilidad si el sistema de vacíos se llena con agua. Las pruebas han indicado que la durabilidad se mejora cuando el vacío estructural permite drenar el agua (NRMCA 2009).

La EPA recomienda una limpieza habitual del pavimento de concreto permeable para prevenir obstrucciones. Esta limpieza puede realizarse mediante lavado a la alta presión. A pesar de que el concreto permeable y el suelo subyacente tengan excelentes capacidades de infiltración, es posible que no se logre eliminar todos los contaminantes.

No se han registrado investigaciones sobre la resistencia del concreto permeable al ataque agresivo de sulfatos o agua ácida, que puede filtrarse a través de él, por lo tanto, existe la precaución al utilizarlo en los ambientes donde exista agua con componentes agresivos como los sulfatos o agua acida. En situaciones críticas, para preservar la calidad del agua subterránea se recomiendan también ensayos de lluvia según Ready Mixed Concrete Association (NRMCA 2009).

### 2.2.3.10 PERMEABILIDAD.

Una de las características más importantes del concreto permeable es su capacidad para filtrar agua a través de su matriz, y su magnitud es medida por la tasa de filtración. La tasa de filtración del concreto permeable está directamente relacionada con el contenido de vacíos. Las pruebas han demostrado (Meininger 1988) que se requiere un mínimo contenido de vacíos de aire de aproximadamente 15% para lograr una filtración significativa. La Figura 2.10 (Meininger 1988) muestra la relación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración de una mezcla de concreto permeable. Debido a que las tasas de filtración aumentan a medida que el contenido de vacíos aumenta, y, en consecuencia, la resistencia a la compresión disminuye, el reto en la dosificación de mezcla de concreto permeable es lograr un equilibrio entre una tasa de percolación y una resistencia a la compresión aceptables.



**Figura 5.** Relación entre el contenido de aire y la tasa de percolación.

**Fuente:** Meininger 1988.

La capacidad de filtración del concreto permeable normalmente se encuentra en el rango de 0.2 a 0.54 cm/s). Para que se pueda asegurar el flujo del agua se recomienda al menos el 15% del contenido de vacíos (Meininger, 1988).

**Tabla 6.** Normas Técnicas para ensayos de laboratorio para el concreto.

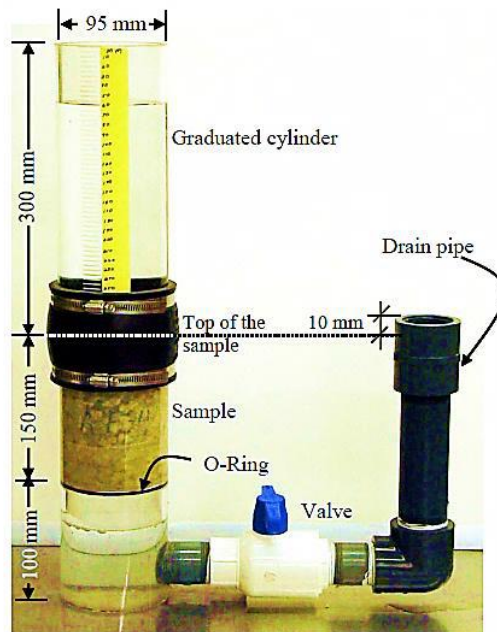
<b>ENSAYO</b>	<b>NORMA “ASTM”</b>	<b>NORMA “NTP”</b>
Muestreo de concreto Fresco	C 172	339.036
Asentamiento - Slump	C 143	339.035
Elaboración y Curado de Muestras	C 192	339.183
Resistencia a la Compresión	C 39	339.034
Peso Unitario, Rendimiento	C 1688	-----
Permeabilidad	ACI 522R-10	-----

**Fuente:** Tesista

El ensayo de permeabilidad es uno de los ensayos más importantes, porque va a permitir conocer un parámetro muy importante, el coeficiente de permeabilidad el cual caracteriza al concreto permeable.

Para determinar la permeabilidad del concreto permeable, existen dos métodos. Uno se encuentra descrito en la Norma ASTM C 1701 "Método Estándar para Prueba de Infiltración en el Concreto Permeable" y la otra prueba es la recomendación que se encuentra en el reporte del ACI 522R-10. Para nuestro ensayo seguiremos la recomendación que se encuentra en el reporte del ACI 522R- 10, en el cual se utiliza un permeámetro de carga variable, en donde se ensaya probetas de 100mm de diámetro por 150mm de altura.





**Figura 6:** Permeámetro de carga variable para medir la infiltración del concreto permeable

**Fuente:** (Neithalath, 2004)

En cuanto al cálculo del coeficiente permeabilidad, fue realizado utilizando la ley de Darcy.

$$K = \frac{L}{t} \times \frac{a}{A} \times \ln \frac{h_1}{h_2}$$

Ecuación 14. Coeficiente de permeabilidad según la ley de Darcy.

Dónde:

k: Coeficiente de permeabilidad.

L: Longitud de la muestra.

A: Área de la muestra.

a: Área de la tubería de carga

t: Tiempo en demora en pasar ( $h_1-h_2$ )

$h_1$ : Altura de agua medida del nivel de referencia (parte superior de la muestra)

$h_2$ : Altura de tubería de salida del agua con respecto al nivel de referencia (1cm)

#### 2.2.4 CONCRETO PERMEABLE APLICADO A PAVIMENTOS.

Su uso como pavimento ha probado poseer grandes ventajas que otros métodos convencionales no poseen, pues la capacidad filtrante brindada por su alto contenido de vacíos permite el drenado de agua (comúnmente, de procedencia pluvial) que de otra manera se quedaría estancada sobre el pavimento hasta que el fenómeno de la evapotranspiración de haga cargo de ella. Además de controlar el escurrimiento de aguas pluviales, un pavimento dotado con concreto y autopistas, reduce el deslumbramiento sobre su superficie (sobre todo en estado húmedo), reducción del ruido ocasionado entre la llanta y el pavimento, entre otros. (Alexander Ariel, 2013)

De entre las aplicaciones prácticas de la aplicación del concreto permeable como pavimento se encuentra su uso como capa superficial en estancamientos y carreteras secundarias. Ejemplo de ellos, se pueden encontrar es capas superficiales construidas en Estados Unidos (principalmente en Florida, Utha, Nuevo México y algunos otros estados). Su uso en Florida se debe a que este estado se ve afectado por fuertes tormentas que ocasionan una gran acumulación de agua pluvial y el concreto permeable permite el reducir el volumen del escurrimiento, al mismo tiempo que se abastece los mantos acuíferos. (Alexander Ariel, 2013)

#### 2.2.5 DISEÑO ESTRUCTURAL

En la determinación del espesor de la sección de un pavimento de concreto permeable, dos análisis importantes deben llevarse a cabo: uno para adecuación estructural y el otro para las características hidráulicas. Dentro de los aspectos aplicables al diseño estructural tenemos:

- a. **Subrasante y sub-base:** La subrasante es el suelo por debajo de la sub-base. La subbase es el conjunto instalado por debajo de la capa de rodadura del pavimento. La subbase proporciona soporte vertical, capacidad de almacenamiento y capacidad de filtración para el tratamiento de contaminantes.

Algunos suelos pueden proporcionar suficiente drenaje y apoyo por lo que la subbase puede ser opcional. Si el apoyo, la capacidad de drenaje, o las capacidades de filtración están limitados por la sub-base, debe ser utilizado un material de sub-base. En las zonas expuestas a los ciclos de hielo y deshielo, la sub-base actúa como aislante y proporciona un importante retraso en la formación de hielo por debajo del pavimento permeable (Backstrom 2000; Kevern y Schaefer 2008).

Incrementando la rigidez de la subrasante y de la sub-base, aumenta la capacidad de carga de un determinado sistema de pavimento. La rigidez de la subrasante puede ser medida por el Módulo de Reacción de la Subrasante "k" (mediante el Ensayo de Placa de Carga), el California Bearing Ratio'(CBR), o por otros métodos menos comunes.

El pavimento permeable está diseñado para permitir que el agua sature la subrasante y toda la estructura del pavimento. Esta condición se debe tomar en cuenta al determinar las propiedades de la subrasante. Cuanto más se compacta el suelo, será menos permeable. Por esta razón, las subrasantes generalmente son compactadas a una densidad más baja que las de pavimentos tradicionales de concreto. El grado de compactación típicamente es del 90% de la densidad máxima seca del método de ensayo Próctor Estándar. El Módulo de Reacción de la subrasante utilizado en el diseño debe tener en cuenta para el menor grado de compactación.

#### **2.2.5.1 RESISTENCIA DEL CONCRETO**

La guía para el diseño estructural de pavimentos de concreto convencional para estacionamientos se proporciona en el comité ACI 330R-01 y para calles y carreteras en el comité ACI 325.12R. Estos documentos abordan diferentes aspectos del diseño de pavimentos. Las recomendaciones de diseño estructural en estos documentos, sin embargo, no son necesariamente aplicables a su uso con pavimento permeable. Como no hay métodos estándar de prueba para el diseño de la resistencia del concreto permeable, la especificación de la resistencia del concreto debe ser evitada.

### 2.2.5.2 SELECCIÓN DEL ESPESOR DE LA ESTRUCTURA

El espesor mínimo del espesor total que debe tener el pavimento (desde la parte superior de la carpeta de rodadura hasta la parte superior de la subrasante), está condicionado por las características de la capacidad de soporte de la subrasante y por el tráfico. En el caso de pavimentos permeables debe considerarse además las necesidades de almacenamiento de la sub base. Debo y Reese (1995) recomiendan los espesores totales de pavimentos permeables los cuales se usarán en nuestro caso para pavimentos ecológicos, que de acuerdo a experiencias con este tipo de pavimentos en los Estados Unidos para calles de bajo tránsito.

**Tabla 7.** Espesores Mínimos recomendados para el total de Pavimentos Ecológicos.

CBR Subrasante	Espesor min. (cm)
Menos de 6	No usar pavimento ecológico
6 a 9	22.5
10 a 14	17.5
15 o más	12.5

**Fuente:** Debo y Reese, 1995

Las características estructurales de los materiales que componen las capas de base y subbase que normalmente se exigen son las siguientes:

**Tabla 8.** Características estructurales de los materiales que componen las capas de base y subbase.

Capa	Características estructurales
Base chancada	C.B.R $\geq$ 80% y espesor $\geq$ 15.0 cm
Subbase estabilizada	C.B.R $\geq$ 40% y espesor $\geq$ 10.0 cm

**Fuente:** Debo y Reese, 1995

Se debe cumplir una relación mínima entre las capas de base, subbase y la subrasante, en cuanto al valor del C.B.R. se refiere, de manera tal de lograr una armonía entre ellas, con el objeto de asegurar una estabilidad estructural al mediano y largo plazo en el pavimento.

**Capa de rodadura.** El comité 522 del ACI, en el reporte 522R-10: Pervious Concrete, recomienda que de acuerdo a la experiencia norteamericana. Y europea, los pavimentos permeables, conformados por una capa de concreto permeable, el espesor de la capa de rodadura de concreto permeable de 125 a 250 mm, en el caso de estacionamientos y de 150 a 250 mm para cales de bajo tránsito. Para elegir el espesor adecuado el proyectista deberá evaluar la resistencia que requerirá durante su uso para condiciones de tránsito.

**Filtro granular o base.** Se puede realizar considerando un espesor variable entre 2.5 cm y 5.0 cm, compuesto por gravilla de un diámetro medio de 1.3 cm de acuerdo a la recomendación de Debo y Reese. No se recomienda reemplazarlo por un geotextil.

**Sub base.** Normalmente la sub base está formada por grava de un diámetro variable entre 2.5 cm y 7.5 cm y tiene un espesor que depende del volumen de almacenamiento requerido. Si bien el volumen de huecos generalmente varía de 38% a 46% para gravas uniformes, para fines de diseño hidráulico se recomienda adoptar solo un 30%.

Existen dos tipos de sub bases que pueden ser utilizados en los pavimentos ecológicos; las subbases tratada y las no tratadas. Las subbases tratadas tienen un contenido de cemento (120-170 kg por m<sup>3</sup>) o asfalto (2-2.5% en peso) que les proporciona estabilidad, permitiendo reducir su contenido de finos. Las subbases no tratadas contienen una mayor proporción de finos para lograr una adecuada estabilidad, lo que reduce su estabilidad del estrato.

**Filtro granular inferior o filtro geotextil.** Este estrato tiene la función de evitar el paso de materiales finos desde el suelo de la subrasante hacia la subbase. Se puede utilizar un filtro .de geotextil o un filtro granular, que se diseñará de manera similar al filtro granular superior.

**Subrasante.** La subrasante del suelo nativo se deberá excavar evitando que el suelo sea compactado, para conservar su capacidad de infiltración. Si la subrasante presenta una capacidad de soporte con un CBR menor de 6 no es recomendable la materialización de un pavimento poroso.

### **2.2.5.3 DISEÑO DE JUNTAS**

La baja relación agua/material cementante (a/mc) usada en el concreto permeable reduce el potencial de agrietamiento por contracción. Esto permite que las juntas estén espaciadas a mayores distancias que en el pavimento convencional o que se eliminen todas. ACI 522.1-08 recomienda que el espacio entre juntas de contracción no exceda los 6 m, y que la profundidad de la junta deba ser de 1/4 a 1/3 del grosor del pavimento (con un ancho de junta mínimo para el corte con sierra de 3 mm.) En lugar de cortarlas con sierra, las juntas en el concreto permeable son cinceladas con una herramienta de juntas. Las juntas cortadas en concreto permeable curado tienden a desmoronarse. Si el pavimento permeable está contiguo a pavimento convencional, las juntas en los dos materiales deben alinearse para reducir el potencial de agrietamiento reflexivo de un panel al otro.

### **2.2.5.4 PROCESOS CONSTRUCTIVOS**

Como cualquier obra civil en este tipo de sistema prima la planeación y el conocimiento de la zona de aplicación para garantizar su vida útil y máximo desempeño (MINVU, 1996).

#### **2.2.5.4.1 INFORMACIÓN BÁSICA DEL LUGAR DE APLICACIÓN**

Debe hacerse un reconocimiento preliminar y detallado del sitio de aplicación y conocer datos como:

- ✓ Perfiles de suelo
- ✓ Geología
- ✓ Topografía
- ✓ Patrones de drenaje (hoyas hidrográfica o área aportante),
- ✓ Clasificación hidrológica del suelo (A, B, C, D),
- ✓ Antecedentes históricos de rellenos o compactaciones, humedales y pozos, etc.

Entre más información preliminar se obtenga mejores resultados se tendrán al reducir la incertidumbre (Smith, 2006).

#### **2.2.5.4.2 DURANTE LA CONSTRUCCIÓN**

Se recomienda mantener los sedimentos lejos del área de construcción, es necesario desviar o impedir la entrada de la escorrentía al sitio mediante canales de drenaje, porque esta podría traer partículas contaminantes. Si no se controla lo anterior la estructura podría colmatarse antes de tiempo, acortando su vida útil. Por otra parte, durante el transporte y en el sitio de acopio es necesario proteger los materiales contra contaminantes (materia orgánica o metales) y evitar la entrada de partículas finas (CIRIA, 2007).

#### **2.2.5.4.3 PREPARACIÓN DE LA SUBRASANTE**

La clave de la estabilidad, tanto de los pavimentos permeables como de los convencionales, está en garantizar la uniformidad y resistencia de la subrasante (la compactación de la subrasante se requerirá cuando el sistema funcione como vía vehicular y tenga un CBR inferior a 5%, en el caso que su uso sea peatonal no será necesaria).

Se debe ser cuidadoso con la maquinaria pesada pues esta puede compactar la subrasante a medida que transita, este hecho se debe tener en cuenta en el diseño, pues una sobre compactación disminuirá la capacidad de infiltración de la subrasante (que para el caso de infiltración total debe ser mayor a 13 mm/hora (MINVU, 1996; Smith, 2006).

#### **2.2.5.4.4 CUIDADOS DE LA MEMBRANA IMPERMEABLE**

Debe asegurarse no rasgar ni romper la membrana impermeable durante los procesos de construcción, además se debe garantizar su longitud de traslape de no menos de 60 cm, esto para el caso del sistema de infiltración cero (CIRIA, 2007).

#### **2.2.5.4.5 CUIDADOS DEL GEOTEXTIL.**

Se recomienda un geotextil no tejido en material sintético con una permeabilidad de 10 veces la permeabilidad de la subrasante (MINVU, 1996), se establece un traslape mínimo de 30 cm (Interpave, 2008).

#### **2.2.5.4.6 COMPACTACIÓN DE LA SUB-BASE PERMEABLE**

El material de la sub-base se debe ir incorporando mediante capas de 10 cm, compactándose hasta alcanzar su máxima densidad con un

compactador estático con 10Ton, sin excederse pues se podría aplastar o triturar el material generando partículas finas y cambiando la relación de vacíos (CIRIA, 2007).

#### **2.2.5.4.7 COMPACTACIÓN DE LA CAPA DE TRANSICIÓN**

Se debe hacer el 60 % de la compactación con rodillo estático el 40% restante con vibro compactador. Para obtener el nivel óptimo de compactación el material debe estar húmedo (Interpave, 2008).

#### **2.2.5.4.8 MANTENIMIENTO**

El mantenimiento periódico de los pavimentos permeables ha demostrado una mejora en cuanto a su comportamiento y un aumento en su vida útil, la forma de hacer mantenimiento es a través del aspirado de los sedimentos en la superficie en condición seca cuando el clima lo permita, por ningún motivo se recomienda llevar cabo procesos de lavado con agua a presión o barridos por medio de aire comprimido, pues estas dos practicas pueden remover los materiales de la capa de transición y generar vacíos, afectando la resistencia de la estructura a los esfuerzos (Smith, 2006).

### **2.2.6 SELECCIÓN DE LAS DIMENCIONES DE LOSA DEMOSTRATIVA.**

#### **2.2.6.1 REALIZACIÓN DE LA PRUEBA “DESCRIPCIÓN VISUAL-MANUAL DE LOS SUELOS” (A.S.T.M.D – 2488).**

##### **2.2.6.1.1 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 estriba en conocer de manera cualitativa, las propiedades mecánicas e hidráulicas de éste la cual nos brinda una clasificación considerable si se conoce como hacerlo. Se empleó 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.



### 2.2.6.1.2 MATERIAL Y EQUIPO PARA LA CLASIFICACIÓN.

Los materiales a utilizar se describen a continuación:

**Tabla 9.** Materiales y equipos para la clasificación.

MATERIAL Y EQUIPO	DESCRPCION
❖ <b>Muestra de suelo.</b>	Se extrajo de la excavación realizada se eligió una muestra del suelo.
❖ <b>Probetas graduadas</b>	Se usan para la prueba de segregación de suelo por sedimentación.
❖ <b>Placa de vidrio</b>	de 20 * 20cm.
❖ <b>Cuchillos y cucharones.</b>	Se usan dentro de la realización de la prueba.

**Fuente:** Tesista

### 2.2.6.1.3 DE LA INSPECCIÓN VISUAL

El color aparente de una muestra en estado seco y húmedo, el ensayo permite determinar la presencia de orgánicos 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:

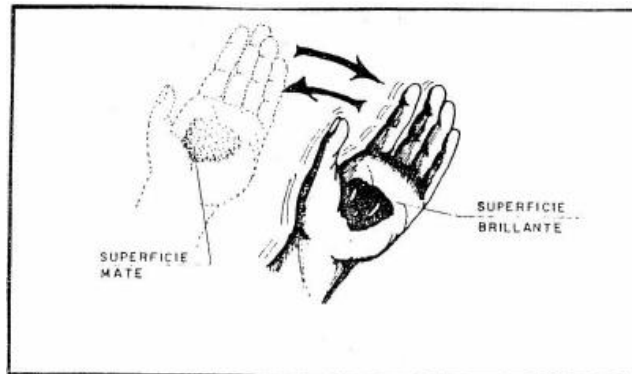
**Tabla 10.** Ensayo de color

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
COLOR	Café oscuro a negro	ON	Suelo con alto contenido de orgánicos.
	Rojizo a rojo oscuro	RO	Contenido de óxido de hierro, combinaciones químicas de hierro.
	Amarillo a café amarillento	AC	Contenido de hierro o hierro hidratado.
	Blanco	B	Contenido de sílice, limo, compuesto de aluminio.

**Fuente:** ASTM.D-2488

#### 2.2.6.1.4 ENSAYO DE SACUDIMIENTO:

Este ensayo se utilizó para la identificación de suelo de grano fino.



**Figura 7.** Sacudimiento de muestra húmeda.

**Fuente:** ASTM.D – 2488.

Se tuvo 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.

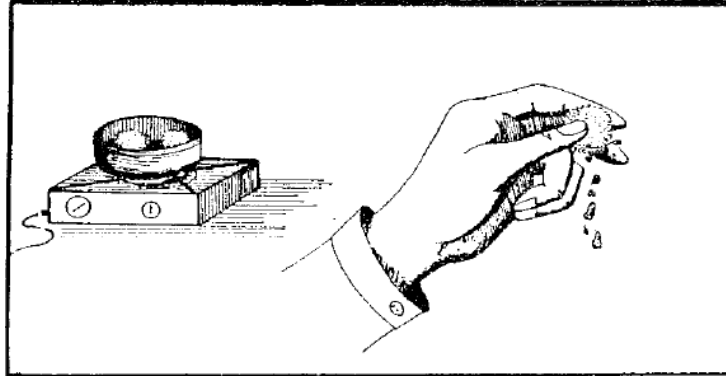
**Tabla 11.** Ensayo de sacudimiento.

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
SACUDIMIENTO	Reacción rápida	RR	Limo inorgánico, polvo de roca, arena muy fina.
	Reacción lenta	RL	Limo, arcilla limosa.
	No reacciona	NR	Turba (materia orgánica)

**Fuente:** ASTM.D-2488

### 2.2.6.1.5 ENSAYO DE ROTURA:

Se utilizó para determinar la resistencia en seco de un suelo y es una medida de la cohesión (adherencia entre las partículas).



**Figura 8.** Ensayo de rotura.

**Fuente:** ASTM.D – 2488.

Se tuvo que 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.

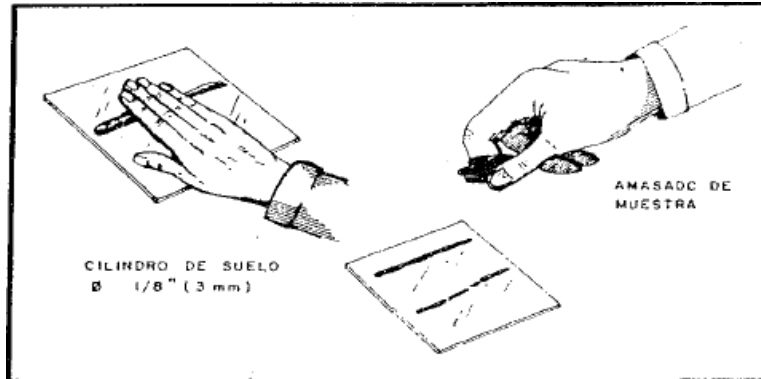
**Tabla 12.** Ensayo de rotura.

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
ROTURA	Ligera	L	Limo inorgánico, polvo de roca, arena.
	Media	M	Arcilla inorgánica,(plasticidad entre baja y media)
	Alta	A	Arcilla inorgánica, (altamente plástica)

**Fuente:** ASTM.D-2488

### 2.2.6.1.6 ENSAYO DE PLASTICIDAD

Se realizó para suelos arcillosos, para determinar la capacidad de ser moldeado bajo un contenido de agua adecuado.



**Figura 9.** Ensayo de plasticidad.

**Fuente:** ASTM.D – 2488.

**Tabla 13.** Ensayo de plasticidad.

Nombre del ensayo	Parámetro	Símbolo	Identificación
PLASTICIDAD	Cilindro tenaz	CT	Arcilla de gran plasticidad
	Cilindro de moderada plasticidad	CM	Suelo de plasticidad media
	Cilindro débil	CD	Suelo de baja plasticidad

**Fuente:** ASTM.D – 2488.

### 2.2.6.1.7 ENSAYO DE BRILLO

Se aplicó 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.

**Tabla 14.** Ensayo de brillo.

<b>Nombre del ensayo</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Identificación</b>
BRILLO	Superficie brillante	SB	Arcilla muy plástica
	Superficie mate	SM	Limo, arcilla de baja plasticidad

**Fuente:** ASTM.D – 2488.

## **2.2.7 CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO DE LA LOSA DEMOSTRATIVA.**

### **2.2.7.1 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. (Tennis y al, 2005).

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. (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 modulo 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).

### **2.2.7.2 PREDIMENSIONAMIENTO**

Largo: 2.0 m y Ancho: 2.0 m.

Para conocer el espesor de la capa de sub-base se revisó la norma ACI 522 R en el apéndice 7 en el cual nos indica 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. Los suelos de sub rasante debe ser humedecido antes de la colocación del concreto. Si no se proporciona una sub base húmeda se volverá 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 se estableció 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.

### **2.2.7.3 CÁLCULO DE MATERIALES**

#### **❖ Base Granular**

$V = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{espesor}$

#### **❖ Concreto permeable**

$V = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{espesor}$

Según el diseño de mezcla para un 17% de vacíos y de la cantera MARGARITA, se usará la cantidad de materiales de nuestro diseño I-DBII-AD1-FPP1. (Ver anexo).

## **2.2.8 MATERIALES Y EQUIPOS**

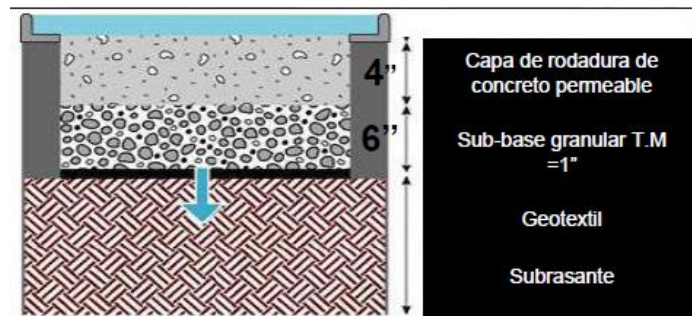
- **CEMENTO:** El cemento que se utilizó fue el mismo de los diseños de mezclas para los ensayos de compresión y es el Cemento Portland tipo I.
- **AGREGADOS:** Se usó piedra huso 67, piedra chancada de ¾ pulg. y arena fina todo de la cantera Margarita.
- **AGUA:** El agua debe ser potable y libre de contaminantes para un buen concreto.
- **ADITIVO:** Sikament 290n.
- **MICROFIBRA DE POLIPROPILENO:** Chema Ultra fina
- **EQUIPO Y HERRAMIENTAS:** Balanza, tablas para encofrado, trompo de 1 bolsa de capacidad, wincha, apisonador manual y carretilla.

## **2.2.9 DESCRIPCIÓN DE PROCESO CONSTRUCTIVO DE LA LOSA DEMOSTRATIVA**

### **2.2.9.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO**

Este fue estabilizado compactándolo hasta el 90% de su densidad máxima seca. El diseño de la subbase debe permitir la filtración del agua por lo que estará compuesta por piedra limpia y compactada de Tamaño Máximo Nominal de 1", el cual tendría una porosidad de diseño de aproximadamente 40%. La capa de rodadura tendrá un 15% de porosidad efectiva, entonces cada pulgada (25 mm) de profundidad del pavimento puede contener 0,15 in (3,8 mm) de lluvia. Por lo tanto, un pavimento de concreto permeable de 4 pulgadas (100 mm) de espesor con una porosidad efectiva del 15% puede contener hasta 0.6 pulgadas (15 mm) de lluvia. (Tennis, Leming, & Akers, 2004).

Una sección típica de pavimento de concreto permeable se muestra en la figura 26. El diseño de una subbase de pavimento permeable normalmente debería proporcionar un espesor de 6 a 12 pulgadas (150 a 300 mm), con agregado de 1 pulg. (25 mm) de tamaño máximo. El efecto de la pendiente influye en la drenabilidad y almacenamiento del agua; por lo que se considerará una pendiente de 1% por recomendaciones del ACI 522R.



**Figura 10.** Ejemplo de sección pavimento concreto permeable.

**Fuente:** (Tennis, Leming, & Akers, 2004).

### **2.2.9.2 PREPARACIÓN DE HERRAMIENTAS, MATERIALES Y LIMPIEZA DEL LUGAR.**

Se consideró como labores iniciales a las actividades de preparación de herramientas y limpieza. Se utilizarán 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.

### **2.2.9.3 TRAZO POR UNIDAD DE ÁREA.**

Se realizó el trazo de acuerdo a las medidas de nuestra losa la cual fue de 2.0 m<sup>2</sup> con las medidas y niveles ya considerados necesarios para plantear ejes y niveles establecidos por el Tesista.

El Trazo se realizó una vez se tenga listo el sitio es decir este limpio y para lo cual se pudo definir el perímetro de trazo y estacas que delimitan las esquinas de la losa.



#### **2.2.9.4 EXCAVACIÓN.**

El trabajo consistió 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 excavó un espesor de 40 cm en un área de dos metros cuadrados.

#### **2.2.9.5 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”.

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.

#### **2.2.9.6 ENCOFRADO Y DEPÓSITOS**

Se delimitó el área de trazo y el área de excavación con tablas; para el encofrado se usaron las mismas formaletas para definir el encofrado del concreto, tal cual como se observan en las imágenes.

También se usó recipientes plásticos los cuales sirvieron para delimitar las proporciones del concreto y carretillas cargar el agregado que se usó como sub base.

### **2.2.9.7 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 II-ADBII-AD1-FPP1 de mezcla que obtuvo mayor resistencia tanto a compresión como a flexión en las pruebas hechas en laboratorio.

### **2.2.9.8 CONSOLIDACIÓN Y ENRASADO**

Una vez que el concreto ha sido colocado en el sitio, así como lo dice la norma se esparce y se compacta para lograr un buen acomodamiento en las partículas.

### **2.2.9.9 ACABADO SUPERFICIAL**

Cuando este toda la superficie colada y se haya esparcido el concreto por toda la superficie con una pala de albañilería se logra el acabado superficial del concreto el cual debe de quedar con pequeños poros los cuales permitirán la filtración del agua atreves del concreto y de la capa granular.

### **2.2.9.10 CURADO DE CONCRETO**

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 4 veces por día.

### **2.2.9.11 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 siguiente tabla:

**Tabla 15.** Calendario de mantenimiento de los pavimentos permeables.

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>PERIODO</b>
Verificación de la presencia de escombros.	Mensual
Verificación de la presencia de sedimentos.	
Limpieza de raíces o semillas del pavimento.	Cuando se necesario
Aspirado de sedimentos de la superficie del pavimento.	
Inspección del deterioro y desprendimiento de la superficie del pavimento.	Anual

**Fuente:** ACI 522.

#### **2.2.10 MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLA**

Para la dosificación del diseño de mezcla del concreto permeable, son tomados como base los procedimientos del Método del Comité 211.3R-02 del ACI, recomendaciones del Comité 522, estudios realizados por: Pervious Pavement Organization, National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), Portland Cement Pervious Concrete Pavement; el sustento reside en que, siguiendo estas recomendaciones y experiencias podemos obtener una estructura de concreto con contenido de vacíos importantes a diferencia de un concreto convencional, por lo que la cantidad de mortero debe ser suficiente para recubrir todas las partículas de agregado y formar puentes de adherencia.

Básicamente el comité ACI 522, se apoyó en el trabajo desarrollado por el comité ACI 211.3R-02, en su apéndice N° 6.

### 2.2.10.1 RELACIÓN AGUA - CEMENTO

La relación agua-cemento determina la porosidad de la pasta de cemento endurecida en cualquier etapa de hidratación. Esta relación constituye un parámetro importante de la composición del concreto permeable. Tiene influencia directa sobre la resistencia, durabilidad y retracción. Esta relación, agua-cemento, es el valor más importante de la tecnología del concreto, determinando la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

La relación agua-cemento (a/c) es el cociente entre la cantidad de agua y de cemento existentes en el concreto fresco, es decir, se calcula dividiendo la masa de agua por la del cemento contenidas en un volumen dado de concreto.

$$r = \frac{a}{c} \dots \dots \dots (\text{Ec. 15})$$

Ecuación 2. Relación agua - cemento

Donde:

r: Relación agua - cemento

a: Masa del agua

c: Masa del cemento

El valor de “r” aumenta al incrementar la cantidad de agua y decrece al aumentar el contenido de cemento. En todos los casos, cuanto más baja es la relación agua-cemento, son más favorables las propiedades de la pasta de cemento endurecida en cuanto a resistencia.

En el caso del concreto permeable, el contenido óptimo de agua produce una pasta con apariencia de brillo de un metal mojado o brillante (TRMC). Utilizando una cantidad insuficiente de agua, dará como resultado una mezcla sin consistencia y tenderá a causar formación de bolas en el mezclador y no permitirá una distribución uniforme de los materiales lo cual resultará en una baja resistencia del concreto. Una cantidad excesiva de agua, causa que la pasta fluya y selle los vacíos de la mezcla, además de desplazar el cemento dejando expuesto al agregado, produciendo una baja resistencia al desgaste superficial. La relación agua-cemento, depende principalmente de las características de granulometría y físicas de los agregados gruesos y del contenido de material cementante de la mezcla.

Para el concreto permeable, la relación agua-cemento, debe variar en el rango de 0.26 a 0.45. Los valores más altos de a/c, sólo deberán utilizarse si el hormigón está ligeramente compactado y viceversa. La relación a/c frente a la resistencia a la compresión, que es normal utilizar en el hormigón convencional, no se aplica a concreto permeable.

### 2.2.10.2 RELACIÓN AGREGADO - CEMENTO

La relación agregado-cemento, comúnmente varía entre 4:1 a 4.5:1 en peso, pero ésta depende fundamentalmente del tipo de agregado.

Tanto la relación agua-cemento y la relación agregado-cemento, deben satisfacer las características de permeabilidad, capacidad de carga y durabilidad.

### 2.2.10.3 CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO

Pruebas de densidad seca, hechas por NAA-NRMCA (National Aggegates Association - National Ready Mixed Concrete Association) demuestran que la densidad seca del agregado grueso, según lo determinado por ASTM C 29/ C 29M, puede ser utilizado eficazmente en la dosificación de concreto permeable.

$$\frac{b}{b_0} = \frac{\text{Peso del agregado grueso}}{\text{Pusc del agregado grueso}} \dots \dots \dots \text{(Ec. 16)}$$

Ecuación 16. Densidad seca del agregado grueso

Donde:

$b/b_0$  = Volumen seco varillado del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.

$b$  = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.

$b_0$  = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de agregado grueso.

El valor  $b/b_0$ , 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 usado para concreto permeable (3/8" a 3/4"), los valores  $b/b_0$  son muy similares.

La tabla N° 16, muestra los valores de  $b/b_0$  para agregado grueso de tamaños N°8 (3/8”) y N° 67 (3/4”), para un contenido de agregado fino de 0%, 10% y 20% del total de agregado para concreto permeable.

**Tabla 16.** Porcentaje de agregado grueso.

Contenido de agregado fino:	b/b <sub>0</sub> :	
	N° 8 (3/8”)	N° 67 (3/4”)
%		
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

**Fuente:** Norma ACI 522.R-10, 2010

#### 2.2.10.4 PORCENTAJE DE VACÍOS

Para garantizar la percolación a través del concreto permeable, el contenido de vacíos de diseño, calculado como porcentaje de aire, por el método gravimétrico (ASTM C 138), según ACI 211.3R - 02, debe ser de 15 % o mayor (Figura 11).

Para 15% de contenido de vacíos, la resistencia a la compresión del concreto permeable es 20.68 MPa (3 000 Psi) a los 28 días, para agregado grueso del uso granulométrico 67 (Figura 12). A mayor contenido de vacíos, mayor es la tasa de percolación, pero menor es la resistencia al esfuerzo de compresión del concreto permeable.

#### 2.2.10.5 PROCEDIMIENTO DE DOSIFICACIÓN DE MEZCLA

El ACI 211.3R (2002) proporciona un método para la dosificación de concreto permeable de asentamiento cero, que se utiliza para aceras y otras aplicaciones donde se necesitan drenaje y percolación.

El procedimiento de dosificación de mezcla de concreto permeable, se basa en el volumen de pasta necesario para mantener unidas las partículas de agregados, mientras se mantiene la estructura de vacíos.

En la presente investigación, se sigue el siguiente procedimiento de dosificación, desarrollado para producir los especímenes de prueba de concreto permeable, descritos en la sección 6.7.1, del comité ACI 522.R-10 “Reporte sobre Concreto Permeable”:

1. Cálculo de la resistencia a la compresión de diseño ( $F'_{cr}$ ), a partir de la resistencia a la compresión requerida ( $F'_c$ ) con la Ecuación 17.

$$f'_{cr}=1.20 \times f'_c$$

Ecuación 17. Sexto criterio. Según la condición de ejecución de obra. Instituto español.

2. Elección de la consistencia de la mezcla del concreto permeable, teniendo en cuenta su característica principal de tener un asentamiento inferior a 2mm (Tabla 17).
3. Se elige el tamaño de agregado grueso y para esto se tiene de referencia el tamaño máximo recomendado por el ACI 522.R-10, el cual presenta los husos granulométricos recomendados para diseños de concreto permeable (Tabla 18).
4. Se selecciona la relación agua-cemento ( $a/c$ ), para lo cual se tiene en cuenta los parámetros según ACI 211.3R-02 en el apéndice 6, donde recomienda valores entre 0.26 a 0.45, para garantizar el recubrimiento al agregado y la estabilidad a la mezcla.
5. Se elige el porcentaje de agregado fino, del cual dependerá el valor de  $b/b_0$  (Volumen seco varillado del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto), tabla N° 19. Seguidamente se obtiene el peso del agregado grueso con la ecuación 3 descrita anteriormente.
6. Se determina la cantidad de cemento.  
Previamente se obtiene el contenido de vacíos, según la resistencia a compresión que se desea obtener, haciendo uso de la figura N° 12. Después de definido el contenido de vacíos, se obtiene el contenido de

pasta de la figura 13. Finalmente, se obtiene el contenido de cemento a partir de la Ecuación 17.

$$\text{Volumen de Pasta} = \frac{\text{Cemento}}{Pe \text{ del Cemento}} + \frac{\text{Agua}}{Pe \text{ del Agua}}$$

Ecuación 18. Volumen de pasta

La figura 10, nos proporciona el contenido de vacíos versus la percolación, basada en pruebas y métodos de ensayo de la NAA-MRMCA.

7. Se determina la cantidad de agua de diseño. A partir de la relación agua - cemento ( $a/c$ ) y de la cantidad de cemento conocidos, se determina el volumen unitario de agua de diseño, con la Ecuación 18:

$$\text{Agua} = \frac{a}{c} * \text{cemento}$$

Ecuación 19. Agua de diseño

8. Se determina el peso seco del agregado fino. Haciendo uso del método de volúmenes absolutos, según ACI Comité 211.3R-02, se determina el volumen absoluto de los pesos de los materiales (cemento, agua, agregado grueso, aire; cada uno dividido entre su peso específico). El volumen absoluto de agregado fino, es la diferencia entre la unidad y la sumatoria de los volúmenes absolutos de los materiales y finalmente el peso del agregado fino seco es el producto del volumen absoluto de agregado fino por el peso específico del agregado fino. Como se observa en las Ecuaciones 20 y 21:

$$\text{Volumen Abs. de A. Fino} = 1 - \sum(\text{Volumen Abs. de Materiales})$$

Ecuación 20. Volumen absoluto de agregado fino

$$\text{Peso del A. Fino seco} = \text{Volumen Abs. de A. Fino} * (Pe \text{ A. Fino})$$

Ecuación 21. Peso del agregado fino seco



9. Se plasma el resumen de los pesos secos de los materiales por m<sup>3</sup> de concreto permeable (Materiales de diseño).
10. Se realiza la corrección por humedad de los agregados de los materiales de diseño (agregado fino y grueso); seguidamente se obtiene la cantidad de agua real que se debe añadir a la tanda puesto que los agregados se encuentran en estado húmedo, por lo cual sus pesos secos se incrementan en el porcentaje de agua que contengan, tanto agua absorbida como agua superficial. Así es que el agua añadida a la tanda, debe ser reducida en una cantidad igual a la humedad libre aportada por los agregados, considerándose como tal el contenido de humedad menos la absorción del agregado.
11. Se plasma el resumen de los pesos húmedos de los materiales por m<sup>3</sup> de concreto permeable (Materiales de obra).
12. Determinación de las proporciones en peso de materiales de diseño y de obra.
13. Reajuste del diseño de mezcla de concreto permeable.
14. Utilización de aditivo plastificante en el diseño de concreto permeable.
15. Utilización de fibra de polipropileno en el diseño de concreto permeable.

#### 2.2.6.1 TABLAS USADAS EN EL DISEÑO DE CONCRETO PERMEABLE

**Tabla 17.** Consistencia

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento</b>
Sumamente Seco	--
Muy Seco	< 2mm
Seco	0" – 1"
Plástico Seco	1" – 3"
Plástica	3" – 5"
Muy Plástica	5" – 7 1/2"

**Fuente:** Norma ACI 211.3R-02

**Tabla 18.** Tamaño máximo de agregado

Huso Granulométrico N°	Tamaño del Agregado	
	TMN	
	(máx.)	(mín.)
67	3/4"	4
7	1/2"	16
8	3/8"	8
89	3/8"	16

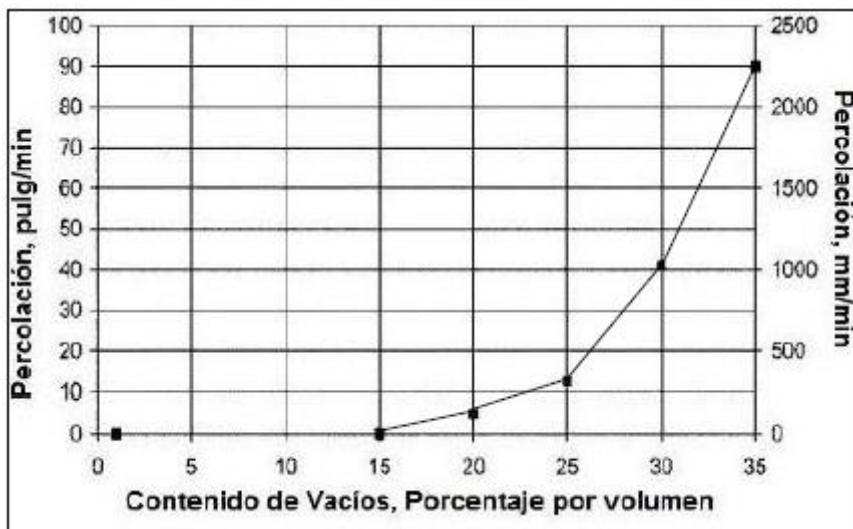
**Fuente:** Norma ACI 211.3R-02, ASTM C33

**Tabla 19.** Peso Volumétrico seco compactado del agregado grueso b/b0

% Agregado Fino	b/b <sub>0</sub>	
	N° 8	N° 67
	3/8"	3/4"
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

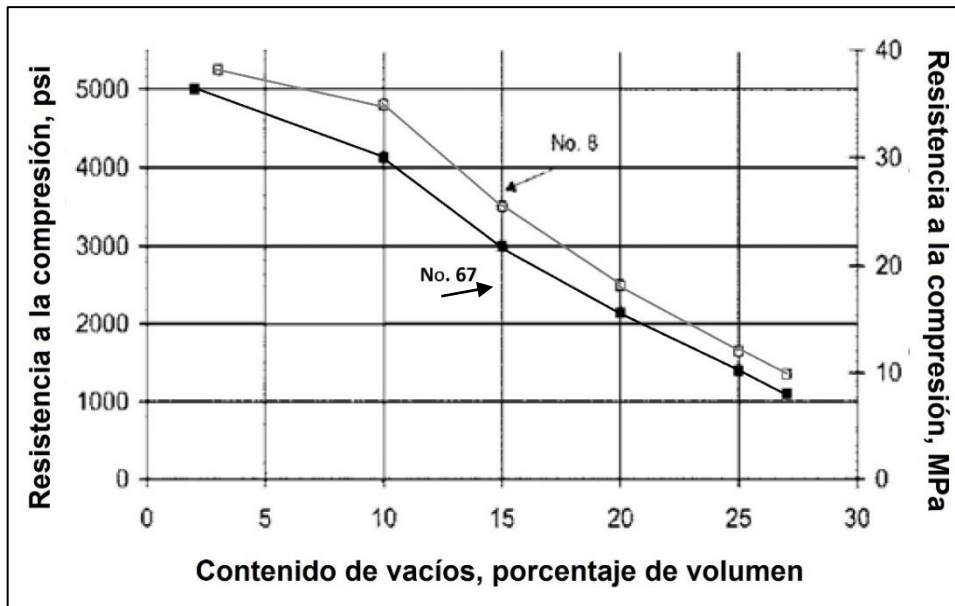
**Fuente:** Norma ACI 211.3R-02, Apéndice 6, tabla A6.1

### 2.2.6.2 GRÁFICAS USADAS EN EL DISEÑO DEL CONCRETO PERMEABLE



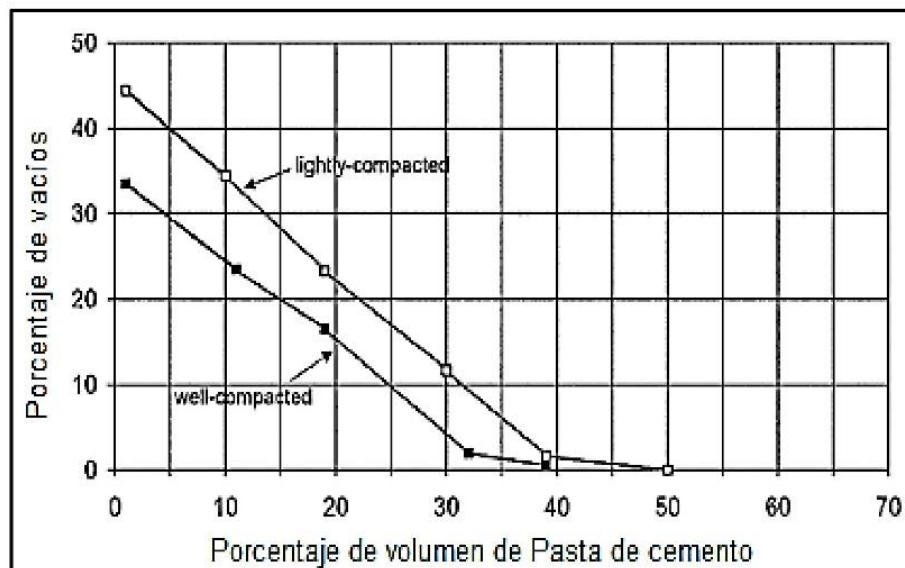
**Figura 11.** Contenido de vacíos versus Percolación del concreto permeable.

**Fuente:** (ACI 522R-10, 2010)



**Figura 12.** Contenido de vacíos versus Resistencia a compresión del concreto permeable.

**Fuente:** (ACI 522R-10, 2010)



**Figura 13.** Contenido de pasta versus vacíos para agregados del huso granulométrico N° 67.

**Fuente:** (ACI 522R-10, 2010)

## **CAPÍTULO III**

---

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

### 3.1 MATERIALES USADOS EN LA INVESTIGACIÓN

#### 3.1.1 AGREGADOS

El agregado fino y grueso es obtenido de la cantera “MARGARITA” (Figura 12), Km 91+000 carretera Cajamarca, en el distrito de Chilete, en las coordenadas geográficas: 07°13'32.72" S, 78°50'03.56" W.

Se ha obtenido agregado grueso de TM: 3/4" (grava), de perfil angular que es un material de tipo aluvial y obtenido por trituración. El agregado fino (arena) también es procedente de la trituración del material aluvial.

**Tabla 20.** Coordenadas de ubicación

UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	
	ESTE	NORTE
CANTERA “MARGARITA”	739139.86	9200725.63



**Figura 14.** Ubicación geográfica de la cantera Margarita.  
**Fuente:** Google Earth, 2018.

### **3.1.2 SELECCIÓN DE MUESTRAS DEL AGREGADOS FINO Y GRUESO**

La selección de las muestras del agregado fino y grueso se realiza con un método aleatorio, tal como la Norma ASTM D75 (práctica estándar para muestreo de agregados), desde la producción.

- Para el agregado grueso se tomó 3 muestras de la pila; parte superior, intermedia y fondo.
- Para el agregado fino se tomó 3 muestras de la pila, pero evitando tomar el material superficial.

### **3.1.3 ESTUDIO DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS**

Para iniciar con los trabajos en laboratorio, se trasladó los agregados desde la cantera Margarita, distrito de Chilete, provincia de Contumazá - Cajamarca.

Seguidamente se procedió a realizar los ensayos respectivos:

- ❖ Toma de muestras del agregado grueso (piedra chancada) y agregado fino (arena), mediante el método de cuarteo (ASTM D-75).
- ❖ Análisis granulométrico de los agregados para determinar: tamaño máximo, porcentaje de finos, módulo de fineza, huso granulométrico (ASTM C33 o NTP 400.037).
- ❖ Ensayo para determinar en contenido de humedad (ASTM C70 y NTP 339.185).
- ❖ Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso (ASTM C- 127 y NTP 400.021).
- ❖ Ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino (ASTM C-128).
- ❖ Ensayo para determinar el peso unitario suelto del agregado grueso y fino (ASTM C-29).
- ❖ Ensayo para determinar el peso unitario compactado del agregado grueso y fino (ASTM C-29).

### 3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo a la naturaleza y objetivos de la presente investigación, se ha optado por un estudio explicativo y enfoque cuantitativo.

El diseño de mezcla óptimo de un concreto permeable requiere especificar propiedades, características, relación y comparación entre variables (causa - efecto), toma de datos para probar la hipótesis con base a una medición numérica para la dosificación última.

#### 3.2.1 POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población de estudio es el conjunto de especímenes de concreto permeable.

#### 3.2.2 MUESTRA

Se utilizará un total de 54 probetas de concreto permeable en estado endurecido, con diferentes dimensiones para los ensayos de permeabilidad, resistencia a la compresión, para calcular el número de muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$n_0 \geq \frac{Z^2 \cdot s^2}{E^2} = \frac{1.96^2 \cdot 7.89^2}{4^2} = 14.94$$

$$n_0 = 15$$

$n_0$  = Muestra.

Z = Nivel de confianza al 95%.

S = Valor de la Desviación estándar (Valor tomado por antecedentes).

E = Precisión (error máximo tolerable en la estimación del parámetro).

Z = 95% de confiabilidad, se tomó este valor debido a que se considera un margen de error del 5% en los equipos que se utilizarán para los dos ensayos (compresión y permeabilidad).

S = 7.89 kg/cm<sup>2</sup>, este valor se ha obtenido de acuerdo con los resultados en trabajos de investigación anteriores (Diseño de mezclas de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para su uso en pavimentos en la ciudad de Cajamarca, 2017) de la variable dependiente considerada más importante para la presente investigación (resistencia a la flexión),

$E = 4 \text{ kg/cm}^2$ , se ha considerado un error tolerable de 10% del valor promedio de resistencia a la flexión =  $44.21 \text{ kg/cm}^2$  que se obtuvo en estudios anteriores (Diseño de mezclas de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para su uso en pavimentos en la ciudad de Cajamarca, 2017), esto de acuerdo con el criterio del investigador, con la finalidad de que los resultados que se obtengan sean similares.

- ✎ Para la prueba de resistencia a la compresión (ASTM C-39), se elaborarán 15 especímenes de concreto permeable para el diseño II-ADBII-AD1, y 15 para el diseño II-ADBII-AD1-FPP1, habiendo tenido la forma cilíndrica, cuyo diámetro es aproximadamente de 15 cm. y su longitud de 30 cm., serán 5 probetas las que se ensayen a los 7 días, 5 probetas a los 14 días y las 5 probetas restantes a los 28 días. Así se obtuvo un total de 30 cilindros.
- ✎ Para la prueba de resistencia a la compresión según la norma (ASTM C-39), se elaborarán 6 especímenes de concreto permeable para el diseño II-ADBI, y 6 para el diseño II-ADBII, habiendo tenido forma cilíndrica, cuyo diámetro es aproximadamente de 15 cm. y su longitud de 30 cm., serán 3 probetas las que se ensayen a los 7 días, y las 3 probetas restantes a los 28 días. Así se obtuvo un total de 12 cilindros.
- ✎ Para el ensayo de permeabilidad (ACI 522R-10), se tomó como muestra 6 cilindros de 10 cm. de diámetro y 15 cm. de altura, evaluándolos a los 28 días. Así tendremos un total de 12 cilindros.

### **3.2.3 UNIDAD DE ANÁLISIS**

La unidad de análisis de esta investigación es denominada “especimen de concreto permeable”.





## ETAPA I

- ✓ Se realizó estudios de las propiedades de los agregados de la cantera "MARGARITA" según las normas ASTM y NTP.
- ✓ Se determinó las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, se obtienen los "diseños base" para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , sin uso de aditivo "Sikament 290n" y sin uso de microfibra de polipropileno "Chema Fibra Ultrafina".

De los diseños iniciales sin aditivo y microfibra de polipropileno, se eligió el diseño con mayor resistencia al esfuerzo de compresión y mayor contenido de poros el cual es corregido con el reajuste de diseño de mezcla, para luego incorporar el aditivo "Sikament 290n" y la microfibra en la proporción de (FPP1=300 gr/m<sup>3</sup> de concreto) teniendo en cuenta la ficha técnica de dicho producto.

### 3.4 ESTUDIOS DE LAS PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS SE REALIZÓ SEGÚN LAS NORMAS ASTM Y NTP.

- Peso Específico y Absorción ASTM C 127/NTP 400.021 y ASTM C 128/NTP 400.022
- Contenido de Humedad ASTM C 70/NTP 339.185
- Análisis Granulométrico ASTM C 136/NTP 400.012
- Cantidad de Material Fino que pasa el tamiz N°200 ASTM C 117/NTP.339.132
- Peso Unitario ASTM C 29/NTP 400.017
- Resistencia a la Abrasión. Los Ángeles ASTM C 131/400.019

#### 3.4.1 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA EL DISEÑO DE MEZCLA.

##### 3.4.1.1 Propiedades del agregado fino.

Las propiedades del agregado fino cumplieron con la norma:

- Contenido de humedad (ASTM C 70/ NTP 339.185)
- Absorción (ASTM C128/ NTP 400.022)
- Módulo de fineza (ASTM C136-5/ NTP 400.012)
- Peso unitario suelto seco (ASTM C 29/NTP 400.017)

- Peso unitario compactado seco (ASTM C 29/NTP 400.017)
- Peso específico de masa (ASTM C 127/NTP 400.021)

### 3.4.1.2 Propiedades del agregado grueso.

Las propiedades del agregado grueso cumplieron con la norma:

- Tamaño máximo nominal (NTP 400.037 o ASTM C 33)
- Contenido de humedad (ASTM C 70/ NTP 339.185)
- Absorción (ASTM C128/ NTP 400.022)
- Módulo de fineza (ASTM C136-5/ NTP 400.012)
- Peso unitario suelto seco (ASTM C 29/NTP 400.017)
- Peso unitario compactado seco (ASTM C 29/NTP 400.017)
- Peso específico de masa (ASTM C 127/NTP 400.021)

### 3.4.1.3 Propiedades del cemento.

Las propiedades del cemento se obtuvieron de la ficha técnica del cemento portland tipo1.

- Tipo: Cemento Portland tipo I
- Marca: Cementos Pacasmayo S.A.
- Peso Específico: 3.10 gr/cm<sup>3</sup>

### 3.4.1.4 Propiedades de los Aditivos usados.

Las propiedades del aditivo y la fibra de polipropileno se obtuvieron de la ficha técnica.

**Tabla 21.** Propiedades de los aditivos.

MARCA	NOMBRE	DENSIDAD
SIKA	“Sikament 209n”	1.20 gr/cm <sup>3</sup>
CHEMA	“Chema Fibra Ultrafina”	0.91 gr/cm <sup>3</sup>

### **3.5.1 METODOLOGÍA DE LA DOSIFICACIÓN DE CONCRETO PERMEABLE.**

Actualmente, existen pocos estudios sobre dosificación del concreto poroso, el cual difiere del concreto convencional, ya que los requerimientos de desempeño no son los mismos.

En esta tesis se utilizó los lineamientos descritos en el ACI 522R – 10 para la dosificación de concretos permeables. Este método se basa en encontrar la relación entre el volumen de agregado grueso seco compactado por volumen unitario de concreto. Para ello, se necesita el dato del porcentaje de arena respecto al agregado global, el huso de la piedra utilizada y el grado de compactación que se empleó.

A continuación, se describe la metodología empleada para la dosificación de las mezclas de la presente investigación:

#### **A. Proceso para el diseño de mezclas de concreto**

1. Se calculó de la resistencia a la compresión de diseño  $f'_{cr}$ .
2. Se eligió la consistencia de la mezcla del concreto permeable.
3. Se determinó el tamaño máximo nominal del agregado (TMN).
4. Se estimó la relación agua/cemento.
5. Se eligió el porcentaje de agregado fino.
6. Se determinó de la cantidad de cemento.
7. Se determinó la cantidad de agua de diseño.
8. Se determinó el peso seco del agregado fino.
9. Se calculó el resumen de los pesos secos de los materiales por  $m^3$ .
10. Se realizó la corrección por humedad de los agregados.
11. Se calculó el resumen de los pesos húmedos de los materiales por  $m^3$ .
12. Se determinó las proporciones en peso de los materiales de diseño.
13. Se reajustó el diseño de mezcla de concreto permeable.
14. Se adicionó el aditivo plastificante en el diseño de concreto permeable.
15. Se adicionó la fibra de polipropileno en el diseño de concreto permeable.

### **3.5 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES DE CONCRETO**

Se elaboró especímenes cilíndricos para las pruebas a compresión (150 mm de diámetro por 300 mm de altura) y de permeabilidad (100mm de diámetro por 150mm de altura).

Se utilizó moldes de metal no absorbentes, que no reaccionan con el cemento, del laboratorio de materiales, para pruebas a compresión y de permeabilidad se elaboraron moldes utilizando tubería de PVC respectivamente, con las medidas correspondientes.

#### **3.5.1 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS USADOS.**

##### **A. Moldes cilíndricos (NTP 339.209)**

Los moldes fueron de acero, fierro fundido u otro material no absorbente que no reaccione con el concreto, la superficie del interior de los moldes es lisa. Los lados fondo y extremos tendrán que estar en ángulo recto entre ellos y deben ser planos. Las dimensiones del molde usado fueron de: altura=6" y diámetro=12".

##### **B. Martillo de Próctor estándar.**

El martillo es de sección circular recta de acero liso y pesa 5 libras.

##### **C. Martillo o maso.**

El martillo es de goma (caucho) o cuero, con una masa de 0.6kg  $\pm$ 0.2kg.

##### **D. Herramientas.**

Pala, cucharón, espátula, plancha o paleta de albañil y recipiente de muestreo.

##### **E. Balanza electrónica.**

Se usó una balanza de aproximación de un 1gr y de capacidad máxima de 30kg.

##### **F. Mezcladora eléctrica.**

La mezcladora fue de una capacidad de 6 *pies*<sup>3</sup>.

#### **3.5.2 VACIADO DE LOS CILINDROS.**

Se colocó el concreto al molde con la cuchara, se mueve la cuchara alrededor del perímetro del molde para asegurar una distribución del concreto con la mínima segregación. Se usó el martillo de Próctor estándar para el apisonamiento 15

veces por cada capa. Al colocar la capa final, se adicionó una cantidad de concreto de manera de enrasar a tope con el borde superior del molde después de la consolidación. Después de la consolidación de la última capa, se dio el acabado a la superficie superior, utilizando la barra compactadora lisa para enrasar, y se dio el acabado con un badilejo de tal modo la parte superior quede totalmente plano.

### **3.5.3 CURADO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO.**

#### **a) Curado inicial.**

Luego de moldeados y acabados, estos especímenes fueron almacenados por un tiempo de 24h en un ambiente que evite la pérdida de humedad, protegiendo a estos de la luz directa del sol como indica la norma ASTM C192. Se usó bolsa plástica en la parte superior del espécimen de modo que no pierda la humedad.

#### **b) Curado final.**

Después de desmoldar las probetas y antes de que transcurran 30 minutos después de haber removido los moldes, se almacenó las probetas en condiciones adecuadas de humedad, siempre cubiertas por agua. Se mantuvo las probetas en las mismas condiciones de la estructura origen (protección, humedad, temperatura, etc.).

### **3.5.4 MEZCLAS DE PRUEBA**

Para comprobar las propiedades en estado plástico de la mezcla, se elaboraron mezclas de prueba para comprobar el diseño de la mezcla teórica, así como disminuir incertidumbres y variables para evitarlos en la etapa de las mezclas formales de diseño, así como definir la variable de relación agua/cemento (a/c). Se realizaron tres mezclas para verificar la apariencia de la mezcla, trabajabilidad, facilidad de colocación, cohesión de la mezcla, contenido óptimo de pasta, humedad adecuada y peso unitario. Se realizaron ajustes en el contenido de la pasta, contenido de cemento y cantidad de aditivos. Además, se midió, en estado endurecido, la resistencia a compresión a los 7 días.

## **ETAPA II**

- ✓ Al diseño inicial se le adicionó el aditivo polifuncional Sikament®- 290N, de Building Trust SIKA, teniendo en cuenta la cantidad agregada según la hoja técnica de dicho producto.
- ✓ Al diseño inicial se le adicionó el aditivo polifuncional Sikament® - 290N y las fibras de polipropileno Chema fibra ultrafina, teniendo en cuenta la cantidad agregada según la hoja técnica de dichos productos.

### **3.6 DISEÑO INICIAL CON ADITIVO POLIFUNCIONAL**

Esta etapa se realizó con la finalidad de mejorar las propiedades del concreto permeable de la etapa I, como es la trabajabilidad, porosidad, resistencia, utilizando un aditivo polifuncional para concretos (Sikament - 290N).

El aditivo Sikament- 290N, a emplear para la dosificación de una mezcla de concreto permeable, se utilizó como plastificante y superplastificante según la dosificación a utilizar, y cumple con las especificaciones técnicas como plastificante con la Norma ASTM C 494 tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494 tipo G.

Para el diseño en esta segunda etapa se realizó de la misma manera que se trabajó para los diseños iniciales, teniendo en cuenta que el porcentaje de agregado fino para esta segunda etapa se considerara el del diseño ya reajustado. Además de eso se tuvo en cuenta el reajuste por el uso del aditivo polifuncional.

El procedimiento para las mezclas de diseños iniciales con aditivo polifuncional se encuentra el anexo V:

### **3.7 DISEÑO INICIAL CON ADITIVO POLIFUNCIONAL Y FIBRAS DE POLIPROPILENO**

Al diseño o mezcla base ajustada (Código II-ADBII-AD1), se le adicionó fibra de polipropileno (FPP), teniendo en cuenta la dosificación especificada en la ficha técnica de dicho producto (300gr por 1m<sup>3</sup>). Se analizó su comportamiento tanto en la trabajabilidad, consolidación, permeabilidad y resistencia a la compresión a los 07 días y luego se elaborarán especímenes para ensayarlos a los 07,14 y 28 días para compresión y 28 días para permeabilidad.

El procedimiento para las mezclas de diseños iniciales con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno se encuentra el anexo V:

Los resultados que se obtuvieron del diseño inicial con aditivo polifuncional y fibra de polipropileno en la etapa II, a los 7 días se muestran en los siguientes cuadros (Ver anexo).

### **3.8 ESPECÍMENES CON DIFERENTES TIPOS DE MEZCLA**

#### **DOSIFICACIÓN N° 01: DISEÑO BASE II - REAJUSTE DE CON ADICION DE ADITIVO POLIFUNCIONAL**

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados, con la adición de aditivo polifuncional (0.9% del peso del cemento), para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto ecológico necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

Con cada una de las tres dosificaciones vistas en los acápites anteriores, se elaboraron 15 especímenes cilíndricos de concreto permeable de los cuales cada 5 especímenes serán ensayados a la edad de 7, 14 y 28 días

#### **DOSIFICACIÓN N° 02: DISEÑO BASE II - REAJUSTE CON ADICIÓN DE ADITIVO POLIFUNCIONAL Y FIBRAS SINTÉTICAS DE POLIPROPILENO.**

Estos especímenes fueron elaborados con agua, cemento y agregados con la adición de aditivo polifuncional (0.9% del peso del cemento) y fibras de polipropileno (300gr/m<sup>3</sup>), para cada tipo de ensayo se elaboró la cantidad de concreto permeable necesario bajo las denominaciones siguientes y según la edad de ensayo:

Con cada una de las tres dosificaciones vistas en los acápites anteriores, se elaboraron 15 especímenes cilíndricos de concreto permeable de los cuales cada 5 especímenes serán ensayados a la edad de 7, 14 y 28 días.



### ETAPA III

Diseño y Vaciado de la losa de concreto permeable para un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con la adición de aditivo polifuncional y fibra de polipropileno.

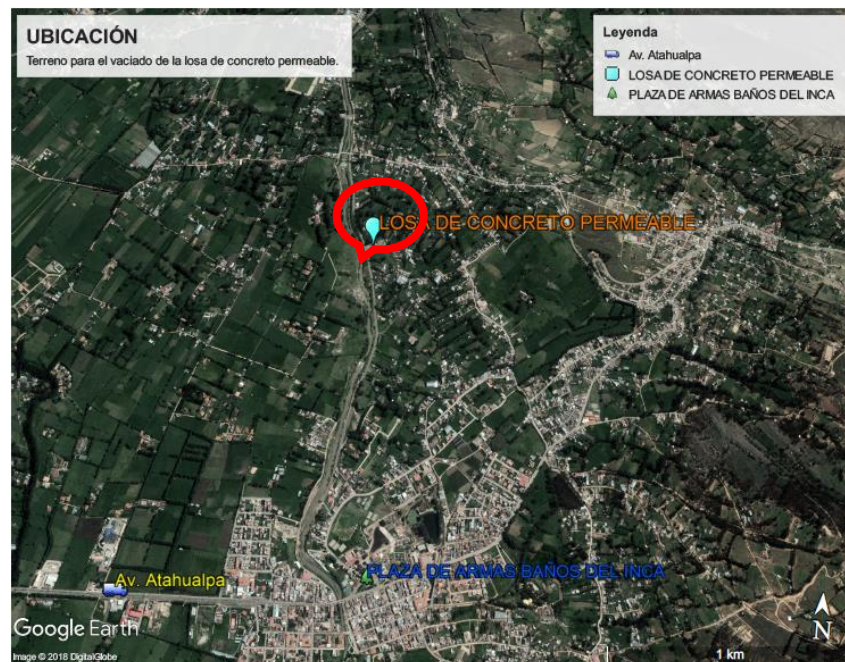
#### 3.9 DISEÑO DE LA LOSA DE CONCRETO PERMEABLE.

En la etapa III se realizó el vaciado de 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 que se realizó fueron de cuatro metros cuadrado. 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.

#### 3.10 RECONOCIMIENTO DEL LUGAR

La losa de concreto permeable de carácter demostrativo se realizó en la ciudad de Cajamarca, en el distrito Baños del Inca.



**Figura 15.** Ubicación del terreno para el vaciado de la losa.

**Fuente:** Google Earth, 2018.

### 3.11 MÉTODO DE PRUEBA ESTANDAR PARA MEDIR LA TASA DE INFILTRACIÓN EN EL LUGAR DEL CONCRETO PERMEABLE (NORMA ASTM C 1701 -09)

#### 3.11.1 INSTRUMENTOS

*a) Anillo de Infiltración:* Un anillo cilíndrico, abierto en ambos extremos (Fig.16), el anillo será lo suficientemente rígido para mantener su forma cuando se llena de agua, y tendrá un diámetro de 300 +/- 10 mm (12, +/- 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.

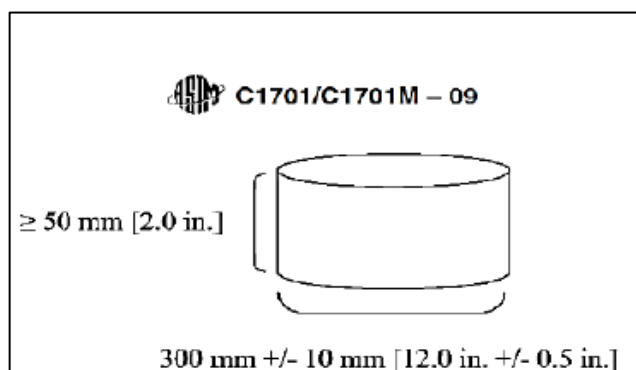
*b) Balanza:* Una balanza o báscula precisión de 10 g (0.02 lb).

*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



**Figura 16.** Esquema de dimensiones del anillo de infiltración.

**Fuente:** ASTM

### **3.11.2 UBICACIÓN DE LA PRUEBA**

Para realizar pruebas en varias ubicaciones de la losa, se procedió a determinar el número de pruebas:

- a) Dos 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.

### **3.11.3 PROCEDIMIENTO**

a) se instaló el Anillo de Infiltración:

se limpió la superficie del pavimento utilizando una escoba.

Se retiró los escombros y otros materiales si lo hubiera.

Se aplicó masilla alrededor del borde inferior del anillo y colocar el anillo en la superficie de concreto permeable a prueba.

Se presionó la masilla en la superficie y alrededor de la parte inferior borde del anillo para crear un sello hermético.

b) Pre Humectación: Se vertió 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.

c) Prueba: La prueba se inició 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. Se registró el peso de agua con una precisión de 10 g (0.02 lb) (M). se vertió el agua en el anillo a una velocidad suficiente para mantener la cabeza entre las dos líneas marcadas y hasta que la cantidad medida de agua ha sido utilizada.

Se empezó a cronometrar tan pronto como el agua afecta a la superficie permeable del concreto. Se detuvo 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.

- a) Si la prueba se repite en el mismo lugar, la repetición de la prueba no requiere pre-mojado si se realizó 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.

### 3.11.4 CÁLCULO DE LA TASA DE INFILTRACIÓN

Se calculó 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.

$$I = \frac{K * M}{(D^2 * t)}$$

$$I = 26714.78 \text{ mm/h}$$

$$I = 7.42 \text{ cm/sg}$$

## **CAPÍTULO IV**

---

# **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### 4.1. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se determinó la cantidad de material para cada tipo de mezcla realizada para el ensayo a compresión.

La tabla N° 22, muestra la dosificación de materiales, de los diseños de mezcla de concreto permeable por metro cúbico, utilizadas en las etapas I, II y III.

**Tabla 22.** Diseño de mezclas de concreto permeable por m<sup>3</sup>

DISEÑO DE MEZCLA - CONCRETO PERMEABLE										
ETAPA	Código de diseño	TMN	Cemento Tipo I (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado Fino (kg/m <sup>3</sup> )	Agregado Grueso (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (Lt/m <sup>3</sup> )	Vacíos %	a/c	Aditivo (Lt/m <sup>3</sup> )	Micro fibra (gr/m <sup>3</sup> )
I	DBI	3/4"	321.244	231.25	1452.61	95.767	15	0.30	--	--
	ADBI	3/4"	420.626	178.66	1300.98	126.191	15	0.30	--	--
II	DBII	3/4"	401.554	41.15	1452.61	123.668	17	0.30		
	ADBII	3/4"	443.117	146.48	1312.04	133.641	17	0.30		
	ADBII-AD1	3/4"	443.117	146.48	1312.04	129.994	17	0.30	3.10	--
	ADBII-AD1-FPP1	3/4"	443.117	146.48	1312.04	130.290	17	0.30	3.04	300
III	ADBII-AD1-FPP1	3/4"	443.117	146.48	1312.04	130.290	17	0.30	3.04	300

**Tabla 23.** Propiedades del concreto permeable.

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO PERMEABLE								
ETAPA	Código de diseño	Número de ensayos	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )	Porosidad %	Esfuerzo a compresión promedio (kg/cm <sup>2</sup> )			Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
					7 Días	14 Días	28 Días	
I	DBI	3	1978.55	18.96	128.08	--	--	199302.93
	ADBI	3	1978.57	17.85	134.61	--	--	199305.95
II	DBII	3	1982.76	17.89	145.26	--	--	199939.39
	ADBII	3	1991.35	17.85	152.79	--	--	201240.11
	ADBII-AD1	15	1994.06	17.60	168.25	207.53	234.15	201651.04
	ADBII-AD1-FPP1	15	1996.97	17.47	175.14	215.86	257.48	202092.62
III	ADBII-AD1-FPP1	12	1996.75	--	--	--	--	202059.23

La tabla N° 23, muestra el resumen de propiedades, obtenidas en las etapas I, II y III.

## 4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.

Para el diseño de la losa de concreto permeable con diferentes adiciones de aditivo y microfibra y teniendo en cuenta las propiedades de cada material ensayado bajo las especificaciones de la norma ASTM, se presentó el análisis de resultados del diseño, la caracterización de agregados tanto fino y grueso, cemento tipo 1; también se analizó los comportamientos mecánicos del diseño de mezcla, es decir, la resistencia obtenida a la compresión, la permeabilidad, y por último, el análisis de la tasa de infiltración de la losa de concreto permeable vaciada in situ.

### 4.2.1 ETAPA I

#### A. Diseños sin aditivo plastificante.

La tabla N° 24, muestra la resistencia a la compresión a los 7 días, de los especímenes de concreto permeable de diseños sin aditivo plastificante, de códigos DBI.

**Tabla 24.** Resistencia a la compresión del DBI

<b>Resistencia a la compresión del diseño DBI</b>		
<b>Diseño N °</b>	<b>F'c - 7 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F'c Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1(3)	127.13	128.08
2(3)	121.35	
3(3)	135.76	

La tabla N° 25, muestra la resistencia a la compresión a los 7 días, del ajuste de mezcla de concreto permeable del diseño ADBI.

**Tabla 25.** Resistencia a la compresión del ADBI

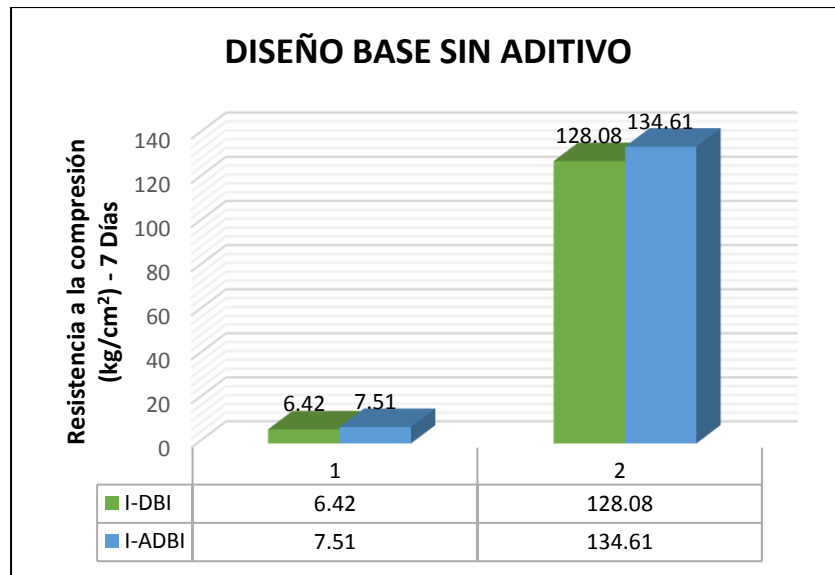
<b>Resistencia a la compresión del diseño ADBI</b>		
<b>Diseño N °</b>	<b>F'c - 7 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F'c Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1(3)	135.27	134.61
2(3)	129.57	
3(3)	138.99	

➤ **Contenido de vacíos.**

La Tabla N° 26, muestra los resultados obtenidos del contenido de vacíos del concreto permeable del diseño I-DBI y I-ADBI.

**Tabla 26.** Porcentaje de vacíos – Diseños sin aditivo plastificante.

Código de diseño	Contenido de vacíos (%)	Porcentaje de vacíos diseño (%)
I – DBI	18.96	15
I – ADBI	17.85	15



**Figura 17.** Resistencia a la compresión del diseño base I sin aditivo plastificante.

En la figura N° 17, se presenta los diseños sin uso de aditivo plastificante, se observa la resistencia a la compresión alcanzado y la cantidad de cemento utilizado.



## 4.2.2 ETAPA II

### A. Diseños sin aditivo plastificante.

La tabla N° 27, muestra la resistencia a la compresión a los 7 días, de los especímenes de concreto permeable de diseños sin aditivo plastificante, de códigos DBII.

**Tabla 27.** Resistencia a la compresión del DBII

<b>Resistencia a la compresión del diseño DBII</b>		
<b>Diseño</b>	<b>F'c - 7 días</b>	<b>F'c Promedio</b>
<b>N °</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1(3)	139.78	145.26
2(3)	142.67	
3(3)	153.33	

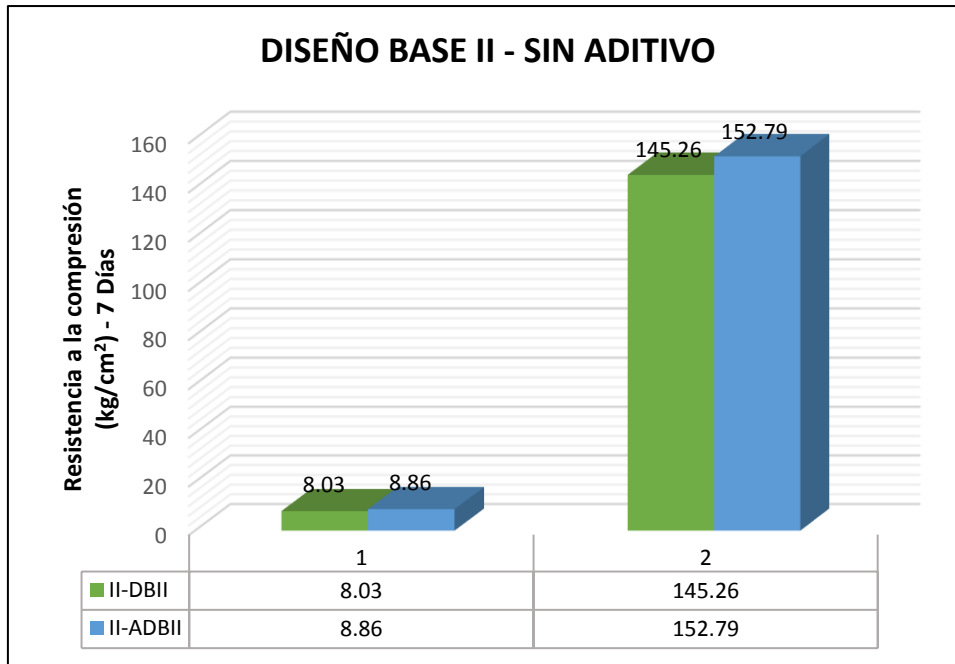
La tabla N° 28, muestra la resistencia a la compresión a los 7 días, del ajuste de mezcla de concreto permeable del diseño ADBII.

**Tabla 28.** Resistencia a la compresión del ADBI

<b>Resistencia a la compresión del diseño ADBII</b>		
<b>Diseño</b>	<b>F'c - 7 días</b>	<b>F'c Promedio</b>
<b>N °</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>(kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1(3)	150.12	152.79
2(3)	154.77	
3(3)	153.48	

**Tabla 29.** Porcentaje de vacíos – Diseños sin aditivo plastificante.

Código de diseño	Contenido de vacíos (%)	Porcentaje de vacíos diseño (%)
II-DBII	17.89	17
II -ADBII	17.85	17



**Figura 18.** Resistencia a la compresión del diseño base II sin aditivo plastificante.

En la figura N° 18, se presenta los diseños sin uso de aditivo plastificante, se observa la resistencia a la compresión alcanzado y la cantidad de cemento utilizado.

## B. Diseños con aditivo plastificante

Las tablas N° 30, muestran las resistencias a la compresión a los 7 días, del ajuste del diseño base II, más el uso de aditivo plastificante Sikament 290n de códigos II-ADBII-AD1.

**Tabla 30.** Resistencia a la compresión del ADBII-AD1.

<b>Resistencia a la compresión del diseño ADBII-AD1</b>		
<b>Diseño N°</b>	<b>F'c - 7 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F'c Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1(3)	164.52	168.23
2(3)	171.92	
3(3)	168.25	

## C. Resistencia a la compresión con respecto al tiempo

Las tablas N° 31, 32 y 33, muestran las resistencias a la compresión de 15 especímenes de concreto permeable, ensayados en grupos de 5 unidades a los 7, 14 y 28 días del diseño ADBII-AD1.

**Tabla 31.** Resistencia a la compresión a los 7 días del diseño ADBII-AD1.

<b>N° de Diseño</b>	<b>EDAD (días)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1(15)	7	15.0	176.7	168.49
2(15)	7	14.8	172.0	165.58
3(15)	7	15.0	176.7	169.65
4(15)	7	14.9	174.4	166.81
5(15)	7	15.0	176.7	170.72
<b>PROMEDIO</b>				168.25

**Tabla 32.** Resistencia a la compresión a los 14 días del diseño ADBII-AD1.

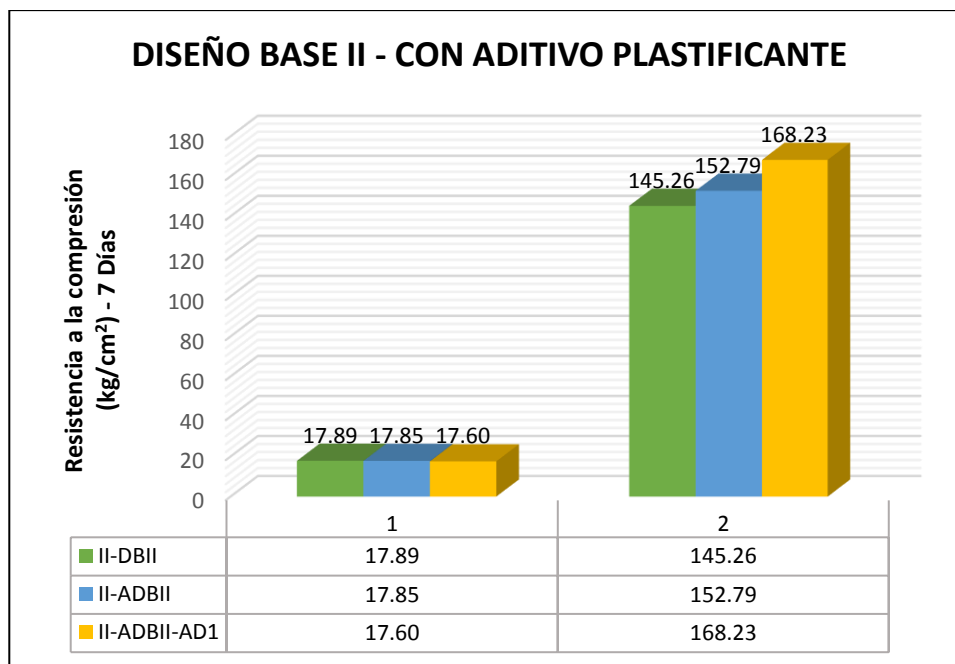
<b>N° de Diseño</b>	<b>EDAD (días)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
6(15)	14	14.9	174.4	198.23
7(15)	14	15.0	176.7	212.12
8(15)	14	15.0	176.7	208.01
9(15)	14	14.8	172.0	199.20
10(15)	14	15.0	176.7	220.11
<b>PROMEDIO</b>				207.53

**Tabla 33.** Resistencia a la compresión a los 28 días del diseño ADBII-AD1.

<b>N° de Diseño</b>	<b>EDAD (días)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
11(15)	28	15.0	176.7	234.57
12(15)	28	14.9	174.4	229.15
13(15)	28	15.0	176.7	232.83
14(15)	28	15.0	176.7	238.05
15(15)	28	15.0	176.7	236.16
<b>PROMEDIO</b>				234.15

**Tabla 34.** Porcentaje de vacíos – Diseños con aditivo plastificante.

<b>Código de diseño</b>	<b>Contenido de vacíos (%)</b>	<b>Porcentaje de vacíos diseño (%)</b>
II – DBII – AD1	17.60	17



**Figura 19.** Resistencia a la compresión del diseño base II con aditivo plastificante.

En la figura N° 19, se presentan los diseños con uso de aditivo plastificante, los cuales son analizados según la cantidad de aditivo utilizado, las resistencias a compresión y el contenido de poros respecto al diseño sin aditivo.

#### **D. Diseños con aditivo plastificante más adición de fibra de polipropileno**

La tabla muestra la resistencia a la compresión a los 7 días, de los especímenes de diseño base II, más aditivo dosificación 1, más fibra de polipropileno Chema Ultrafina de códigos ADBII-AD1-FPP1.

**Tabla 35.** Resistencia a la compresión del ADBII-AD1-FPP1

<b>Resistencia a la compresión del diseño ADBII-AD1-FPP1</b>		
<b>Diseño N°</b>	<b>F'c - 7 días (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>F'c Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1(3)	179.44	175.04
2(3)	170.61	
3(3)	175.07	

### E. Resistencia a la compresión con respecto al tiempo

Las tablas N° 36, 37 y 38, muestran las resistencias a la compresión de 15 especímenes de concreto permeable, ensayados en grupos de 5 unidades a los 7, 14 y 28 días del diseño ADBII-AD1-FPP1.

**Tabla 36.** Resistencia a la compresión a los 7 días del diseño ADBII-AD1-FPP1.

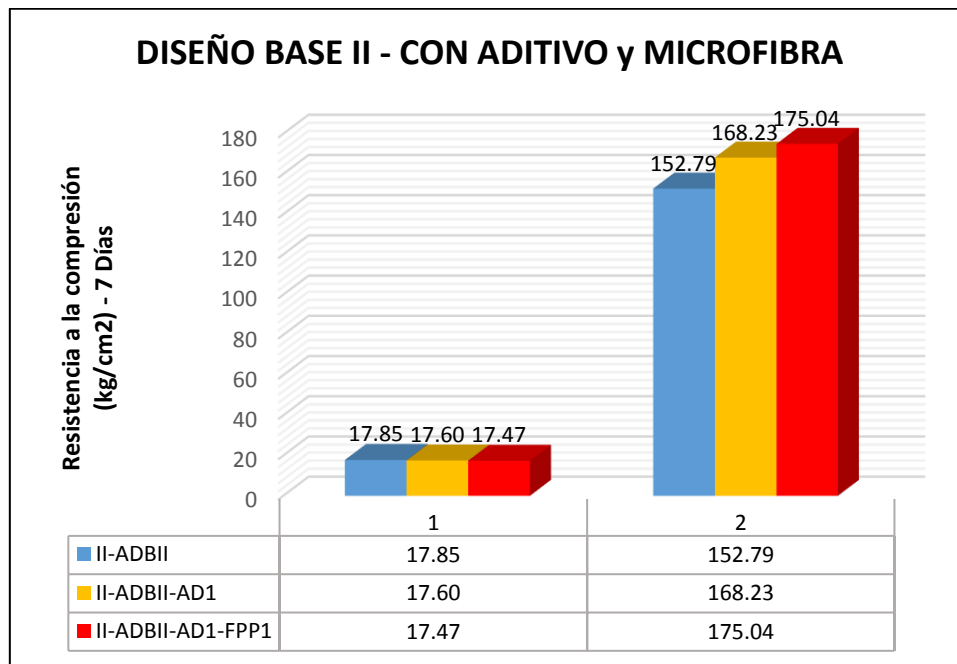
<b>N° de Diseño</b>	<b>EDAD (días)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1(15)	7	14.8	172.0	169.97
2(15)	7	15.0	176.7	176.68
3(15)	7	14.9	174.4	174.67
4(15)	7	15.0	176.7	178.59
5(15)	7	15.0	176.7	175.81
<b>PROMEDIO</b>				175.14

**Tabla 37.** Resistencia a la compresión a los 14 días del diseño ADBII-AD1-FPP1.

<b>N° de Diseño</b>	<b>EDAD (días)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Resistencia (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
6(15)	14	14.9	174.4	209.93
7(15)	14	14.8	172.0	212.46
8(15)	14	15.0	176.7	219.74
9(15)	14	15.0	176.7	216.82
10(15)	14	15.0	176.7	220.38
<b>PROMEDIO</b>				215.86

**Tabla 38.** Resistencia a la compresión a los 28 días del diseño ADBII-AD1-FPP1.

N° de Diseño	EDAD (días)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )
11(15)	28	14.8	172.0	253.67
12(15)	28	15.0	176.7	258.79
13(15)	28	14.9	174.4	256.86
14(15)	28	15.0	176.7	260.18
15(15)	28	15.0	176.7	257.92
<b>PROMEDIO</b>				257.48



**Figura 20.** Resistencia a la compresión del diseño base II con aditivo plastificante y micro fibra de polipropileno.

En la Figura N° 20, se presentan los diseños con fibra de polipropileno. Con el uso de 300 gr de Chema Fibra Ultrafina por m<sup>3</sup> de concreto, la resistencia a la compresión incrementó 4.05 % y la mezcla conserva trabajabilidad respecto al diseño que solamente contiene aditivo en la proporción óptima 0.7% del peso del cemento. El uso conjunto de aditivo y fibra aumentan la resistencia a la compresión 14.56%.

## F. PERMEABILIDAD.

Se determinó la permeabilidad del concreto permeable a los 28 días según la recomendación que se encuentra en el reporte del ACI 522R-10 para los diferentes tipos de mezcla, para cada espécimen los datos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 39.** coeficiente de permeabilidad del diseño ADBII-AD1-FPP1.

<b>COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)</b>		
<b>N° Muestra</b>	<b>Coeficiente de Permeabilidad k (cm/s)</b>	<b>Coeficiente de Permeabilidad k (mm/s)</b>
1	0.22	2.19
2	0.26	2.63
3	0.16	1.56
4	0.17	1.66
5	0.21	2.14
6	0.29	2.85
7	0.25	2.55
8	0.22	2.19
9	0.26	2.58
10	0.23	2.33
11	0.28	2.83
12	0.22	2.21
<b>PROMEDIO</b>		<b>2.31</b>

**Fuente:** Tesista

En la tabla N° 39 se muestra el promedio de permeabilidad para la mezcla de diseño II-ADBII-AD1-FPP1, con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno que es de 2.31 mm/s, cuyo resultado cumple con la permeabilidad para concretos permeables que está en el rango de 2 a 5.4 mm/s.



### 4.2.3 ETAPA III

#### 4.2.3.1 TASA DE INFILTRACIÓN

Se determinó la tasa de infiltración ( $I$ ) por el método de prueba estándar en el lugar del concreto permeable, según la recomendación que se encuentra en Norma ASTM C 1701- 09, los datos se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 40.** Tasa de infiltración de la losa de concreto permeable.

TASA DE INFILTRACION ( $I$ )		
N° de Prueba	N° de ensayos	Tasa de infiltración (mm/h)
I	1	27220.54
	2	27694.19
II	1	26222.35
	2	25722.03
<b>PROMEDIO</b>		<b>26714.78</b>

Fuente: Tesista

#### 4.2.3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PERMEABLE.

La tabla N° 55, muestra la resistencia a la compresión del diseño ADBII-AD1-FPP1, dicho diseño se empleó en la mezcla de concreto permeable para el vaciado in situ de la losa.

**Tabla 41.** Resistencia a la compresión del diseño ADBII-AD1-FPP1.

Resistencia a la compresión del diseño ADBII-AD1-FPP1			
Diseño N °	F'c - 7 días (kg/cm <sup>2</sup> )	F'c Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	Peso unitario (kg/m <sup>3</sup> )
1(3)	173.46	175.28	1927.02
2(3)	175.34		1932.61
3(3)	177.04		1953.36

### **4.3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

#### **4.3.1 ETAPA I**

##### **A. Diseños sin aditivo plastificante.**

En la figura N° 17, se presentó los diseños sin uso de aditivo plastificante, se observa la resistencia a la compresión alcanzado y la cantidad de cemento utilizado.

- ✓ El diseño DBI, compactado en 3 capas, 15 golpes/capa, 6.42 bolsas de cemento por m<sup>3</sup>, con porcentaje de vacíos 18.96% y con resistencia a la compresión a los 7 días de 128.08 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ El diseño ADBI, compactado en 3 capas, 25 golpes/capa, 7.51 bolsas de cemento por m<sup>3</sup>, con porcentaje de vacíos 17.85% y con resistencia a la compresión a los 7 días de 134.61 kg/cm<sup>2</sup>.

El diseño de código DBI se corrigió con el ajuste de mezcla, debido a que presenta mayor contenido de vacíos, con una resistencia a la compresión a los 7 días de 128.08 kg/cm<sup>2</sup>.

- Con el ajuste del diseño base I de código ADBII, es corregida el agua añadida, produciendo un ligero aumento en el contenido de cemento de 6.42 a 7.51 bolsas de cemento por m<sup>3</sup> para mantener la relación agua/cemento de 0.30.

#### **4.3.2 ETAPA II**

##### **A. Diseños sin aditivo plastificante.**

En la figura N° 18, se presentó los diseños sin uso de aditivo plastificante, se observa la resistencia a la compresión alcanzado y la cantidad de cemento utilizado.

- ✓ El diseño DBII, compactado en 3 capas, 15 golpes/capa, 8.03 bolsas de cemento por m<sup>3</sup>, con porcentaje de vacíos 17.89% y con resistencia a la compresión a los 7 días de 145.26 kg/cm<sup>2</sup>.
- ✓ El diseño ADBII, compactado en 3 capas, 25 golpes/capa, 8.86 bolsas de cemento por m<sup>3</sup>, con porcentaje de vacíos 17.85% y con resistencia a la compresión a los 7 días de 152.79 kg/cm<sup>2</sup>.

El diseño de código DBII se corrigió con el ajuste de mezcla, debido a que presenta mayor contenido de vacíos, con una resistencia a la compresión a los 7 días de 152.79 kg/cm<sup>2</sup>.

- Con el ajuste del diseño base II de código DBII, es corregida el agua añadida, produciendo un ligero aumento en el contenido de cemento de 8.03 a 8.86 bolsas de cemento por m<sup>3</sup> para mantener la relación agua/cemento de 0.30.

## **B. Diseños con aditivo plastificante.**

En la figura N° 19, se presentaron los diseños con uso de aditivo plastificante, los cuales son analizados según la cantidad de aditivo utilizado, las resistencias a compresión y el contenido de poros respecto al diseño sin aditivo.

Con el uso 0.3% de aditivo plastificante Sikament – 290n del peso de cemento, la resistencia a la compresión aumenta 10.11% y la mezcla adquiere mejor trabajabilidad respecto al diseño II-ADBII carente de aditivo, presentando 17.85% en contenido de poros. Con el uso de 0.7% de aditivo del peso cemento se obtuvo un incremento de 15.81% en la resistencia a la compresión, y una porosidad de 17.89%.

Por tanto, el uso de 0.7% de aditivo es el contenido óptimo ya que mejora la resistencia a la compresión y tiene el contenido de poros mayor.

## **C. Diseños con aditivo plastificante más adición de fibra de polipropileno**

En la Figura N° 20, se presentaron los diseños con fibra de polipropileno. Con el uso de 300 gr de Chema Fibra Ultrafina por m<sup>3</sup> de concreto, la resistencia a la compresión incrementó 4.05 % y la mezcla conserva trabajabilidad respecto al diseño que solamente contiene aditivo en la proporción óptima 0.7% del peso del cemento. El uso conjunto de aditivo y fibra aumentan la resistencia a la compresión 14.56%.

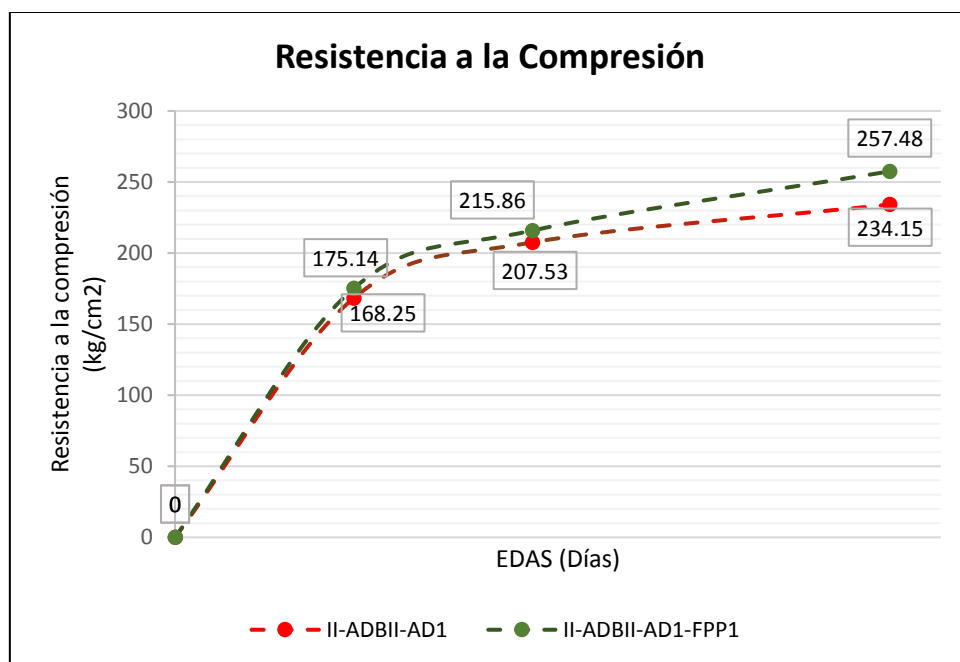
Por tanto, el uso de 300 gr de fibra es el contenido óptimo ya que mejora la resistencia a la compresión, mantiene la trabajabilidad de la mezcla y presenta un contenido de poros mayor.

El diseño de código ADBII-AD1-FPP1, en el cual se usa aditivo plastificante “Sikament-290n” en 07% del peso de cemento y de 300 gr de “Chema Fibra Ultrafina”, es trabajable y resiste 175.04 kg/cm<sup>2</sup> a la compresión a los 7 días por lo cual es seleccionado como diseño óptimo.

#### D. Resistencia a la compresión con respecto al tiempo

En la figura N° 21, se presentó el desarrollo del esfuerzo de compresión promedio como una función de tiempo, para el promedio de 5 especímenes a las edades de 7, 14 y 28 días del diseño ADBII-AD1-FPP1, donde la tendencia es el aumento en el esfuerzo como una función del tiempo.

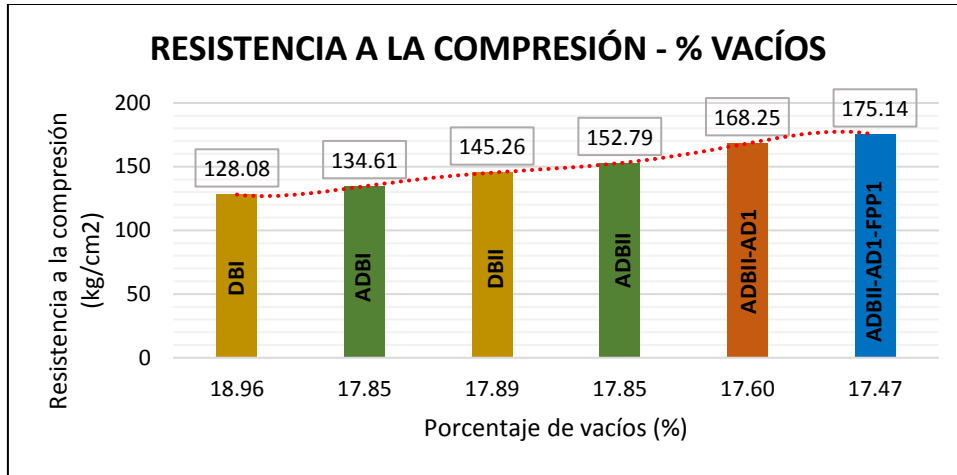
El incremento de esfuerzo más alto es en los primeros siete días de 4.10% y a los 28 días 9.96%.



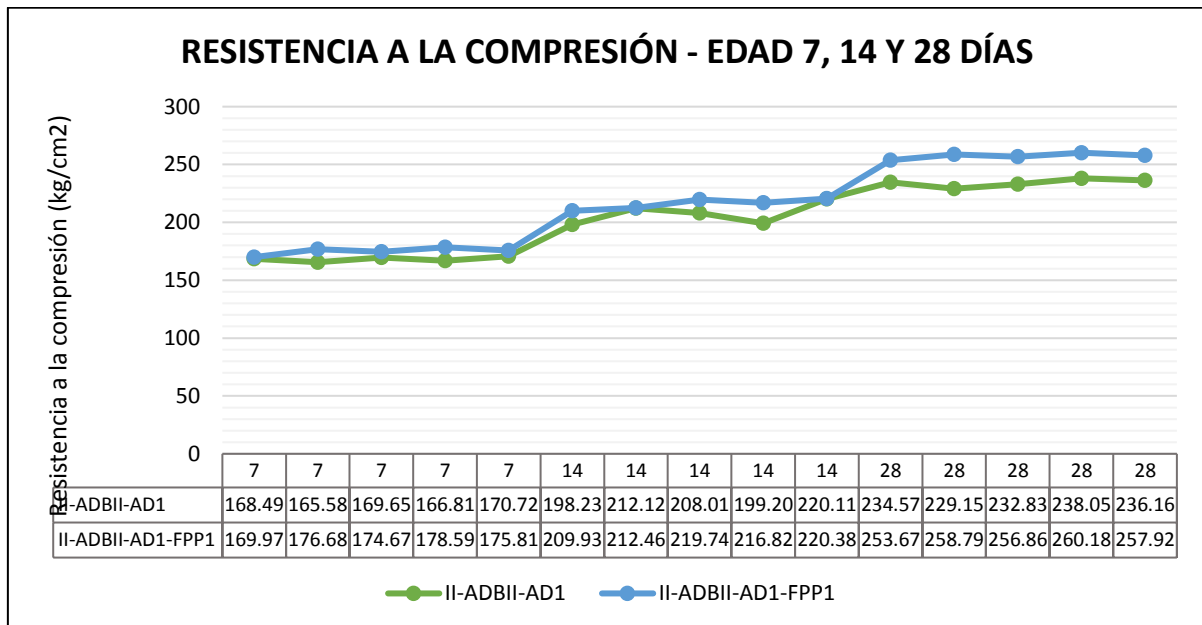
**Figura 21.** Resultados de la resistencia a la compresión promedio, de los diseños II-ADBII-AD1 y II-ADBII-AD1-FPP1.

En dichos ensayos se comprobó también los resultados favorables en cuanto a la resistencia a la compresión del diseño de código ADBII-AD1-FPP1, cuya resistencia a la compresión a los 28 días es 257.48 kg/cm<sup>2</sup>.

La Figura N° 22, se presentó la resistencia a la compresión versus el porcentaje de vacíos de los diseños con su resistencia a la compresión a los 7 días de cada uno de ellos y sus respectivos contenidos de vacíos.



**Figura 22.** Resultados de la resistencia a la compresión vs. % de vacíos.



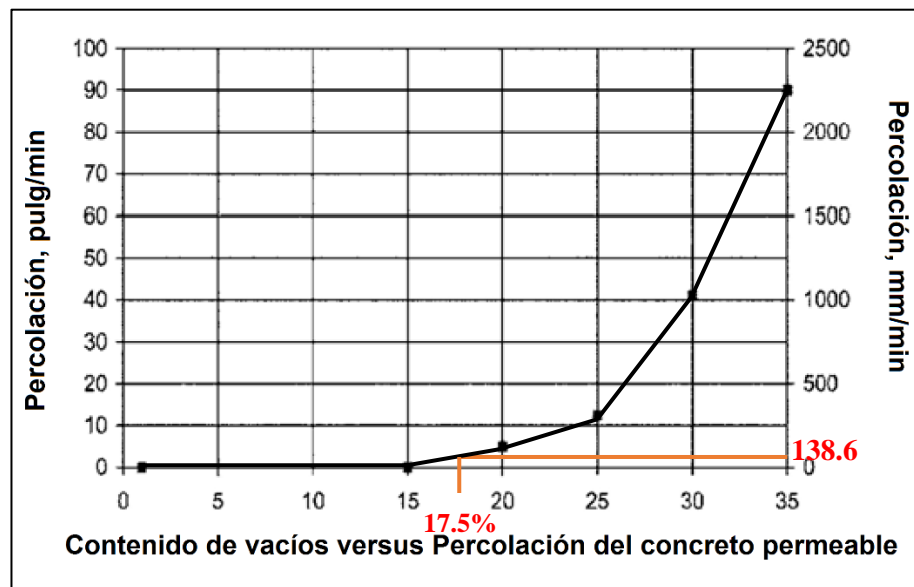
**Figura 23.** Resultados obtenidos de la resistencia a la compresión de los diseños II-ADBII-AD1 y II-ADBII-AD1-FPP1.

En la figura 22 y 23 se comprobó también los resultados favorables en cuanto a la resistencia a la compresión del diseño de código ADBII-AD1-FPP1, para un porcentaje de vacíos de 17.47% y una resistencia a la compresión a los 28 días es 257.48 kg/cm<sup>2</sup>.

## E. PERMEABILIDAD

Se calculó para el diseño de código ADBII-AD1-FPP1, a los 28 días lo siguiente:

- ❖ Coeficiente de permeabilidad de 2.31 mm/seg o 138.60 mm/min.
- ❖ Haciendo uso de la figura N° 24 “Contenido de vacíos vs percolación del concreto permeable” del ACI 211.3R-02, se presentó la figura N° 24, la cual muestra la permeabilidad de 2.31 mm/segundo del diseño de código ADBII-AD1-FPP1, valor que según ACI 211.3R-02 debe estar entre 2 y 5.4 mm/seg para considerar a un concreto como permeable, cumpliendo con estar dentro de dicho parámetro. En la figura N° 24 también se aproximó el contenido de vacíos: 17.5%, correspondiente a una percolación de: 2.31 mm/seg (138.60 mm/min); como vemos este porcentaje de vacíos es mayor al que se calculó por el método de volúmenes absolutos ((ASTM C 1688)) que fue: 17.47%.

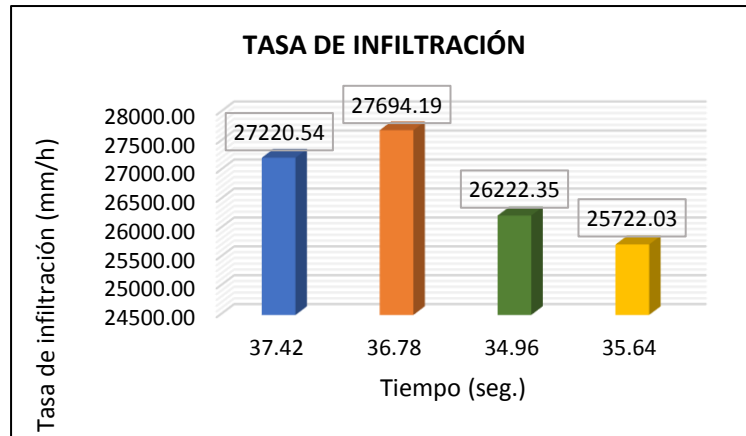


**Figura 24.** Coeficiente de permeabilidad, del diseño II-ADBII-AD1-FPP1.

### 4.3.3 ETAPA III

#### 4.3.3.1 Tasa de infiltración

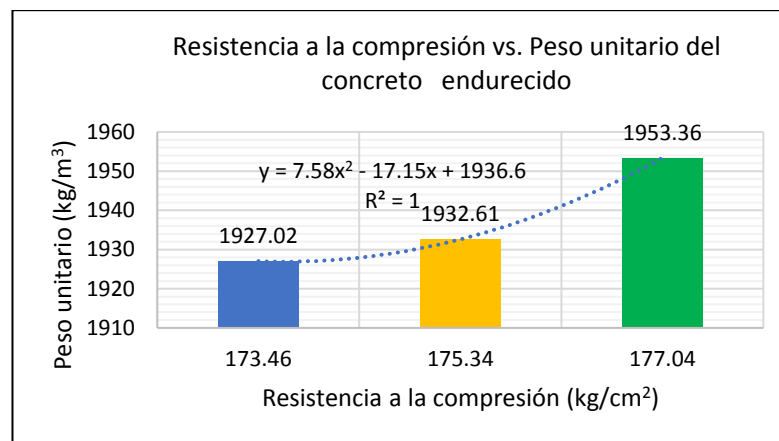
La figura N° 25, se presentó el cálculo de la tasa de infiltración obtenida para el área localizada del pavimento de concreto permeable, para el diseño de código ADBII-AD1-FPP1.



**Figura 25.** Resultados obtenidos de la tasa de infiltración para la losa de concreto permeable.

#### 4.3.3.2 Resistencia a la compresión del concreto permeable.

La figura N° 26, se presentó la resistencia a la compresión versus el peso unitario, del concreto permeable de los 3 especímenes del diseño de la losa.



**Figura 26.** Resistencia a la compresión vs Peso unitario.

La figura 25 el diseño de código ADBII-AD1-FPP1, se comprobó que la tasa de infiltración calculada para un tiempo de 36.78seg. es 27694.19 mm/h, dicho valor es mayor con respecto a los otros tiempos. Y la figura 26 se obtuvo una resistencia de 177.04 kg/cm<sup>2</sup> para un peso unitario de 1953.36 kg/m<sup>3</sup>.

#### **4.4. CONTRASTE DE HIPÓTESIS**

A partir de la recopilación de información, se tiene los siguientes resultados:

- ✓ Se verificó que para el diseño de mezcla de concreto permeable la resistencia a la compresión fue  $257.48 \text{ Kg/cm}^2$ , a los 28 días.
- ✓ Se comprobó que para el diseño de mezcla de la losa de concreto permeable vaciada in situ la permeabilidad adecuada fue de  $2.31 \text{ mm/seg}$  a los 28 días.



## **CAPÍTULO V**

---

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. CONCLUSIONES

- La incorporación de aditivo polifuncional (Sikament-290N) y fibras de polipropileno (13 mm x 19 mm) en el diseño de mezcla de un concreto permeable diseñado para pavimentos  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Cajamarca, mejora parcialmente las propiedades del mismo, específicamente su resistencia a la compresión.
- Se determinó que la resistencia a la compresión obtenida para el diseño II-ADBII-AD1-FPP1 es de  $257.48 \text{ kg/cm}^2$ , por lo cual, es viable para obras de pavimentos especiales, tales como aceras o veredas, pases peatonales y ciclovías.
- El valor de infiltración del concreto permeable es de  $26714.78 \text{ mm/h}$ , el diseño de mezcla con la adición de aditivo polifuncional y fibras de polipropileno cumple con el parámetro mínimo de la norma ACI – 522R 06, para concretos permeables.
- La permeabilidad promedio, del diseño con aditivo polifuncional y fibras de polipropileno considerados permeables en la investigación fue de  $2.31 \text{ mm/s}$ , dicho valor se encuentra dentro de los parámetros establecidos por el ACI 211.3R – 02 (2 a  $5.4 \text{ mm/seg}$ ) y puede considerarse apto para emplearse en pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar investigaciones futuras para ensayos con adiciones de fibras de acero, para poder verificar las propiedades en estado fresco y en estado endurecido, así como la permeabilidad y la infiltración en dicho concreto.
- Se recomienda que en futuras investigaciones se considere diseñar un sistema de subdrenaje del suelo, para identificar la variación de resultados del concreto permeable utilizado en pavimentos rígidos.
- Se recomienda investigar la infiltración de la losa de concreto permeable con diferentes relaciones de a/c y porcentaje de vacíos.

### **Recomendación en obra:**

- ✎ Se recomienda un mantenimiento riguroso y permanente, a fin de evitar la colmatación y conservar sus características benéficas. El cual debe incluir limpieza de la superficie para eliminar plantas, tierra o cualquier elemento que pueda impedir la permeabilidad del agua a través de la superficie de concreto.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**

### **TESIS:**

- Azañedo Medina W. H., Chávez Juanito H., Muñoz Valdivia R. G. (2007), Diseño de mezcla de concreto poroso con agregados de la cantera La Victoria, Cemento portland tipo I con adición de fibras de plástico, y su aplicación en pavimentos rígidos en la ciudad de Cajamarca (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Aquino Cusquisibán, R. (2015), Diseño y aplicación de concreto ecológico con fibras de polipropileno para pavimentos rígidos (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Días Silva, Y. (2017), Diseño de mezclas de concreto permeable elaborado con aditivo y adición de fibra de polipropileno para su uso en pavimentos en la ciudad de Cajamarca. (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.
- Chaiña Quispe, J y Villanueva Escobedo, Y. (2017), 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 Profesional), Universidad Católica de Santa María. Arequipa, Perú.
- (Flores C. y Pacompia I. 2015), Diseño de mezcla de concreto permeable con adición de tiras de plástico para pavimentos  $f'c$  175 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad de Puno. (Tesis Profesional), Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Benites Bustamante J. C. (2014), características físicas y mecánicas del concreto permeable usando agregados de la cantera rio Jequetepeque y el aditivo chemaplast. (Tesis Profesional), Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Guizado A, y Curi E. (2017), Evaluación del concreto permeable como una alternativa para el control de las aguas pluviales en vías locales y pavimentos especiales de la costa noroeste del Perú. (Tesis Profesional), Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

- Hernández Díaz Brian, Martínez Llorente Ornar (2014), Diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena (Tesis Profesional), Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.
- Barahona R, Martínez M, y Zelaya S. (2013), Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca y la Pedrera, de la zona oriental de el Salvador. (Tesis Profesional), Universidad de el Salvador, el Salvador.
- Polanco A y Sánchez V. (2012), Diseño hidráulico de losas en pavimentos poroso rígido como estructuras complementarias al drenaje pluvial de Bogotá. (Tesis Profesional). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.
- Moujir F. y Castañeda L. (2014), Diseño y aplicación de concreto poroso para pavimentos. (Tesis Profesional), Pontifica Universidad Javeriana, Cali, Colombia.
- Castro Ortega, D. (2013), Aplicación de concreto permeable para el diseño de drenaje pluvial: El caso del Municipio de Mazatlán, Sinaloa. (Tesis de Maestría), Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F.
- Rivva, Enrique. (2010). “CONCRETO, TOMO II: Diseño de Mezclas”, Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima – Perú.
- López Palacios, E. 2010. Control de calidad y colocación de concretos permeables (Tesis Profesional), Universidad Nacional Autónoma de México.
- Fernández Arrieta, R. J. Navas Carro, A. 2011. Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad, (Fin de Master), Universidad de Costa Rica.
- Vigil Sánchez, Marlon Ebiezer (2012), Diseño, proceso constructivo y evaluación post construcción de un pavimento rígido de concreto permeable (Tesis Profesional). Universidad de El Salvador, San Salvador, Republica de El Salvador.

## **ARTÍCULOS:**

- ✓ N. Subramanian. 2008. Concreto permeable – un material ecológico que contribuye al ahorro de los recursos hídricos frente a los escasos de agua. En: The Indian Concrete Journal, vol82. dic. 08.
- ✓ Asociación de Productores del Cemento del Perú (Asocem), Boletín Técnico N 66- Ensayo a flexión del concreto.
- ✓ Leguía M. Vélez. 2010. Permeabilidad y Porosidad del Concreto, Facultad de Tecnologías, Instituto Tecnológico Metropolitano, Medellín, Colombia.

## **LIBROS Y REGLAMENTOS:**

- Rodríguez, J. 2008. Estudio, análisis y diseño de secciones permeables de firmes para vías urbanas con un comportamiento adecuado frente a la colmatación y con la capacidad portante necesaria para soportar tráfico ligero.
- Calderón Colea Y., Charca Chura J., Yanqui Murillo C (2013), Investigación en concreto poroso (Boletín Informativo ASOCEM 2013), Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Matthew Offenber. 2008. PE. Is Pervious Concrete Ready for Structural Applications. Structure Magazine. February 2008.
- Hernández, Fernández y Baptista 2003: Metodología de la Investigación. México, Mc. Graw Hill.
- Concrete Mixture Evaluation and Acceptance for Air Field Pavements, Richard C. Meininger and Norm Nelson, NMRCA Publicación 178, setiembre 1991, NMRCA, Silver Spring, MD.

## **NORMAS:**

- ACI 325.12R-02 (2002). Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Local Roads. American Concrete Institute.
- ACI 522R-10 (2010). Report on Pervious Concrete. American Concrete Insitute.
- Pervious Concrete. 2009. Guideline to Mixture Proportioning. National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA).
- ASTM C 1688 / 1688M – Método de Ensayo Estándar para la Determinación del Contenido de Vacíos y Densidad de la Mezcla de Concreto Permeable en Estado Fresco.
- ASTM C 494 / 494M – Especificación Estándar para Aditivos Químicos para Concreto.
- NTP 339.034. 2008. Revisada 2013. Concreto. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.035. 2008. Concreto. Método de ensayo para la medición del Asentamiento del hormigón con el cono de Abrams.
- NTP 339.088. 2006. Concreto. Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos. 2ª. Ed. R. 2006-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.183. 2013. Hormigón. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 339.185. 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable del agregado por secado. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.012.2013 Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

- NTP 400.017. 2011. Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso unitario”) y los vacíos en los agregados. 3ª. Ed. R. 2011-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.018. 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 $\mu$  (Nº 200). 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.019. 2002. Agregados. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.021. 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.022. 2013. Agregados. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. 3ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- NTP 400.037.2002. Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto). 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.

### **PÁGINAS WEB:**

- ❖ Construcción y tecnología en concreto 2012. Concreto Permeable <http://www.imcyc.com/revistacyt/noviembre2012/pdfs/pavimentos.pdf>.
- ❖ Ciudad del saber 2013. La Plaza Ciudad del Saber, Primer Edificio (C&S) LEED GOLD en Panamá. <http://ciudadelsaber.org/es/sala-prensa/noticias/la-plaza-ciudad-del-saber-primer-edificio-cs-leed-gold-en-panama/1385>.
- ❖ Hidrocreto 2015. Innovación mexicana para el control del agua pluvial <https://twenergy.com/mx/a/hidrocreto-innovacion-mexicana-para-el-control-del-agua-pluvial>.



**ANEXOS.**

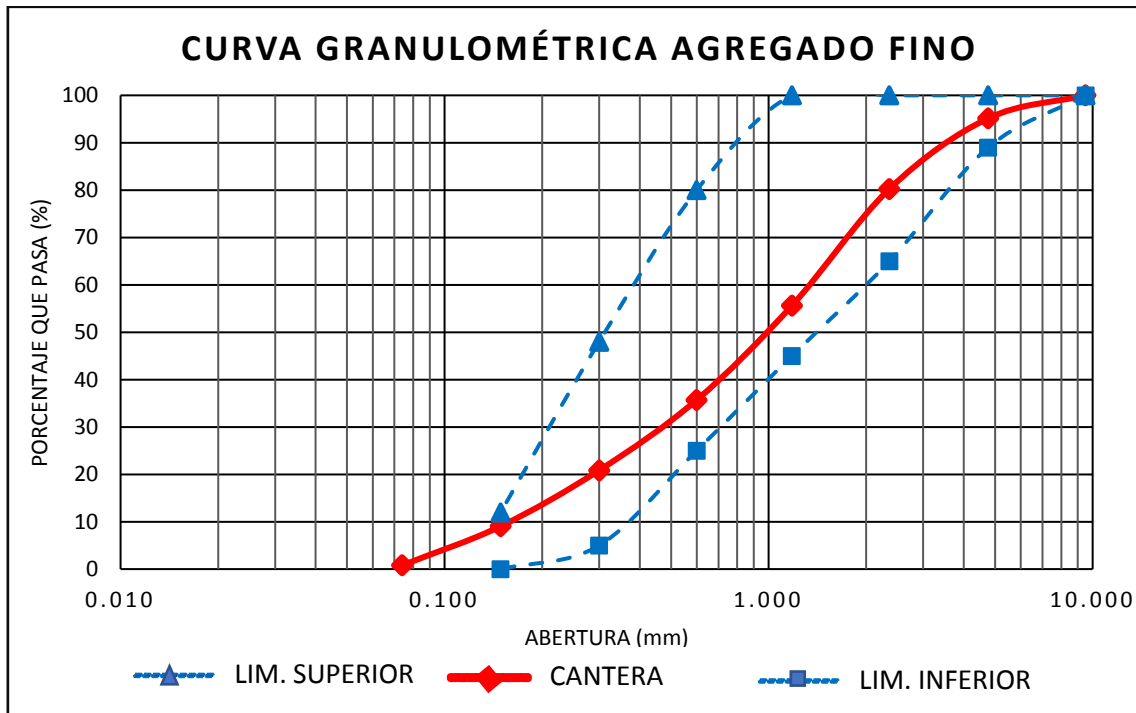
**ANEXO I. PROPIEDADES FÍSICA Y MECÁNICA DE LOS AGREGADOS.**

**a. Cálculo de análisis granulométrico de los agregados.**

**Tabla 42.** Análisis granulométrico del agregado fino.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO A.S.T.M C 136 - NPT 400.012					
TAMIZ		AGREGADO FINO			
Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS NTP 400.037
3/8 "	9.510	0.00	0.00	100	100 - 100
Nº 4	4.760	97.00	4.85	95.15	89 - 100
Nº 8	2.360	298.00	19.75	80.25	65 - 100
Nº 16	1.180	493.00	44.40	55.60	45 - 100
Nº 30	0.600	398.00	64.30	35.70	25 - 80
Nº 50	0.300	297.00	79.15	20.85	5 - 48
Nº 100	0.149	236.00	90.95	9.05	0 - 12
Nº 200	0.074	165.00	99.20	0.80	---- - ----
CAZOLETA	--	16.00	100.00	0.00	---- - ----
<b>PESO TOTAL =</b>		2000.00	<b>MÓDULO DE FINURA (mf.) =</b>		<b>3.034</b>

**Figura 27.** Curva granulométrica del agregado fino.

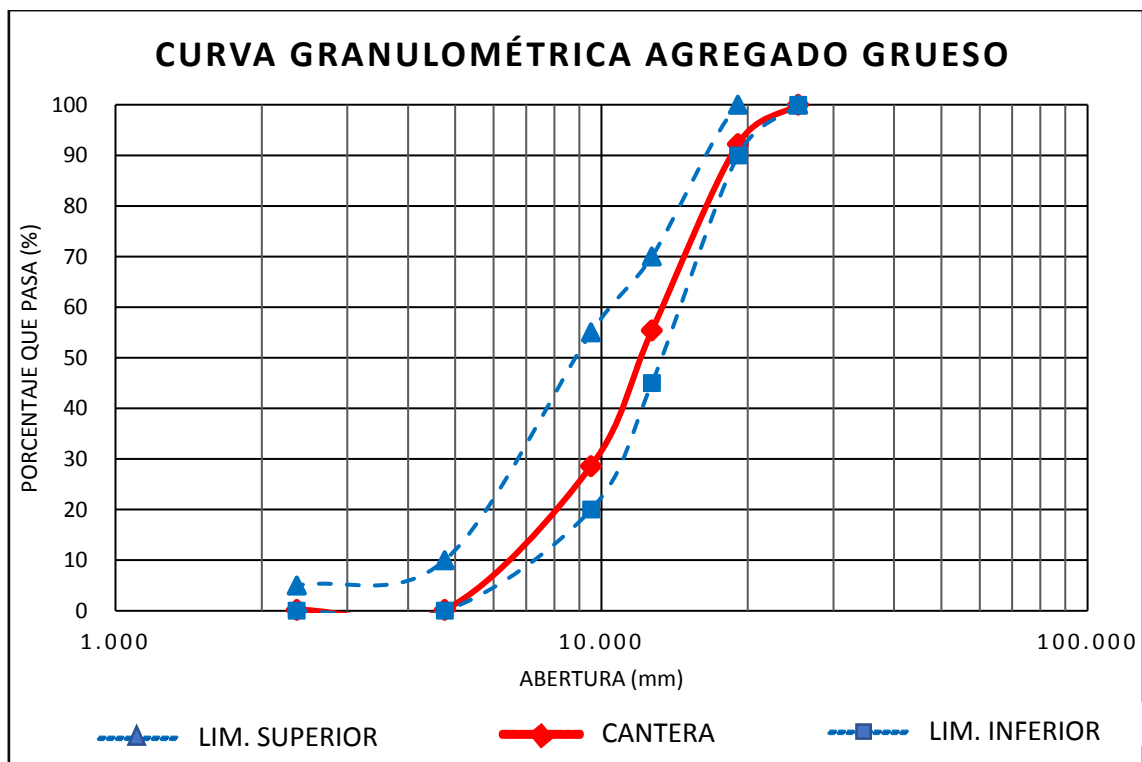


Huso granulométrico "M" agregado fino - NTP 400.037

**Tabla 43.** Análisis granulométrico del agregado grueso.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO A.S.T.M C 136 - NPT 400.012					
TAMIZ		AGREGADO GRUESO			
Nº	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO QUE PASA	REQUISITOS GRANULOMÉTRICOS NTP 400.037
3"	75.000	0.00	0.00	100	---- - ----
2"	50.800	0.00	0.00	100.00	---- - ----
1 1/2"	37.500	0.00	0.00	100.00	---- - ----
1"	25.400	0.00	0.00	100.00	100 - 100
3/4"	19.100	542.00	7.74	92.26	90 - 100
1/2"	12.700	2581.00	44.61	55.39	45 - 70
3/8"	9.520	1874.00	71.39	28.61	20 - 55
Nº 4	4.760	1988.00	99.79	0.21	0 - 10
Nº 8	2.360	0.00	99.79	0.21	0 - 5
CAZOLETA	--	15.00	100.00	0.00	---- - ---
<b>PESO TOTAL =</b>		7000.00	<b>MÓDULO DE FINURA (mf.) =</b>		<b>6.79</b>

**Figura 28.** Curva granulométrica del agregado grueso.



Huso granulométrico N° 67 agregado grueso - NTP 400.037

b. Cálculo de contenido de humedad de los agregados.

Tabla 44. Contenido de humedad del agregado fino.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M D 2216 AGREGADO FINO</b>			
TARA N°	T-1	T-2	T-3
PESO HUMEDO + TARA (gr)	514.00	526.73	498.06
PESO SECO + TARA (gr)	500.60	512.93	485.24
PESO TARA (gr)	90.42	92.56	89.35
PESO DEL AGUA (gr)	13.40	13.80	12.82
PESO SECO (gr)	410.18	420.37	395.89
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.27%	3.28%	3.24%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	<b>3.26%</b>		

Tabla 45. Contenido de humedad del agregado grueso.

<b>CONTENIDO DE HUMEDAD A.S.T.M D 2216 AGREGADO GRUESO</b>			
TARA N°	T-1	T-2	T-3
PESO HUMEDO + TARA (gr)	734.00	778.00	760.00
PESO SECO + TARA (gr)	729.00	772.00	755.00
PESO TARA (gr)	125.00	124.00	126.00
PESO DEL AGUA (gr)	5.00	6.00	5.00
PESO SECO (gr)	604.00	648.00	629.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.83%	0.93%	0.79%
CONTENIDO DE HUMEDAD PROMEDIO (%)	<b>0.85%</b>		

c. Cálculo de peso unitario volumétrico compactado y suelto de los agregados.

Tabla 46. Peso unitario suelto del agregado fino.

<b>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO A.S.T.M C29 - NTP 400.017</b>			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del molde (gr.)	3,858	3,858	3,858
Peso del molde + agregado (gr.)	8,640	8,660	8,650
Peso del agregado (gr.)	4,782	4,802	4,792
Factor (f)	337.89	337.89	337.89
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1615.79	1622.55	1619.17
PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO (kg/m <sup>3</sup> )	<b>1619.17</b>		

**Tabla 47.** Peso unitario compactado del agregado fino.

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO A.S.T.M C29 - NTP 400.017</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del molde (gr.)	3,858	3,858	3,858
Peso del molde + agregado (gr.)	9,119	9,112	9,117
Peso del agregado (gr.)	5,261	5,254	5,259
Factor (f)	337.89	337.89	337.89
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1777.64	1775.27	1776.96
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO PROMEDIO (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1776.63</b>		

**d. Cálculo de peso específico y absorción de los agregados.**

**Tabla 48.** Peso específico y absorción del agregado grueso.

<b>PESO ESPECÍFICO(PE) O GRAVEDAD ESPECÍFICA(GS) A.S.T.M C126 - NTP 400.021</b>					
<b>ITEM</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>				
	<b>FÓRMULA</b>	<b>N°01</b>	<b>N°02</b>	<b>N°03</b>	<b>PROMEDIO</b>
Peso de Muestra Seca (A)	-----	4945.00	4944.00	4943.00	-----
Peso Saturado Superficialmente Seco (B)	-----	5000.00	5000.00	5000.00	-----
Peso de la Muestra en Agua (C)	-----	3060.00	3057.00	3060.00	-----
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA EN ESTADO SECO AL HORNO</b>	$\frac{A}{[B - C]}$	2.55	2.54	2.55	<b>2.55 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA EN ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO</b>	$\frac{B}{[B - C]}$	2.58	2.57	2.58	<b>2.58 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE</b>	$\frac{A}{[A - C]}$	2.62	2.62	2.63	<b>2.62 gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>ABSORCIÓN</b>	$\frac{[B - A]}{A}$	1.11	1.13	1.15	<b>1.13 %</b>

**Tabla 49.** Peso específico y absorción del agregado fino.

<b>PESO ESPECÍFICO(PE) O GRAVEDAD ESPECÍFICA(GS)</b> <b>A.S.T.M C126 - NTP 400.022</b>					
ITEM	AGREGADO FINO				
	FÓRMULA	N°01	N°02	N°03	PROMEDIO
Peso Saturado Superficialmente Seco (gr)	-----	500.00	500.00	500.00	-----
Peso Saturado Superficialmente Seco +Wfiola (gr)	-----	645.00	645.00	645.00	-----
Peso fiola + Agua (gr)	-----	457.10	459.30	458.00	-----
W <sub>o</sub> = Peso de la muestra en el aire secada al horno (gr)	-----	494.20	494.10	493.99	-----
V = Volumen del frasco (cm <sup>3</sup> )	-----	500.00	500.00	500.00	-----
V <sub>a</sub> = Volumen del agua añadida al frasco (cm <sup>3</sup> )	-----	312.10	314.00	311.00	-----
GRAVEDAD ESPECÍFICA EN ESTADO SECO AL HORNO	$\frac{W_o}{[V - V_a]}$	2.63	2.66	2.61	<b>2.63 gr/cm<sup>3</sup></b>
GRAVEDAD ESPECÍFICA EN ESTADO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO	$\frac{500}{[V - V_a]}$	2.66	2.69	2.65	<b>2.66 gr/cm<sup>3</sup></b>
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	$\frac{W_o}{(V - V_a) - (500 - W_o)}$	2.71	2.74	2.70	<b>2.72 gr/cm<sup>3</sup></b>
ABSORCIÓN	$\frac{[500 - W_o]}{W_o} * 100$	1.17	1.19	1.22	<b>1.19 %</b>

**Tabla 50.** Peso unitario suelto del agregado grueso.

<b>PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO</b> <b>A.S.T.M C29 - NTP 400.017</b>			
ENSAYO N°	1	2	3
Peso del molde (gr.)	3,858	3,858	3,858
Peso del molde + agregado (gr.)	8,082	8,086	8,084
Peso del agregado (gr.)	4,224	4,228	4,226
Factor (f)	337.89	337.89	337.89
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1427.25	1428.60	1427.92
<b>PESO UNITARIO SUELTO PROMEDIO (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1427.92</b>		

**Tabla 51.** Peso unitario compactado del agregado grueso.

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO A.S.T.M C29 - NTP 400.017</b>			
<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del molde (gr.)	3,858	3,858	3,858
Peso del molde + agregado (gr.)	8,442	8,440	8,443
Peso del agregado (gr.)	4,584	4,582	4,585
Factor (f)	337.89	337.89	337.89
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1548.89	1548.21	1549.23
<b>PESO UNITARIO COMPACTADO PROMEDIO (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1548.78</b>		

**Tabla 52.** Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado fino.

<b>A.S.T.M C117 - NTP 400.018</b>			
<b>DESCIRPCIÓN</b>	<b>AGREGADO FINO</b>		
	<b>E-01</b>	<b>E-02</b>	<b>E-03</b>
Peso de la muestra seca (gr)	1000.00	1000.00	1000.00
Peso de la tara (gr)	175.00	175.00	175.00
Peso de la tara + Muestra seca lavada (gr)	1149.00	1148.00	1150.00
Peso de la muestra seca lavada (gr)	974.00	973.00	975.00
% que pasa N° 200	2.60%	2.70%	2.50%
<b>% que pasa N° 200 promedio</b>	<b>2.60%</b>		

**Tabla 53.** Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado grueso.

<b>A.S.T.M C117 - NTP 400.018</b>			
<b>DESCIRPCIÓN</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>		
	<b>E-01</b>	<b>E-02</b>	<b>E-03</b>
Peso de la muestra seca (gr)	3000.00	3000.00	3000.00
Peso de la tara (gr)	174.00	174.00	174.00
Peso de la tara + Muestra seca lavada (gr)	3164.00	3162.00	3163.00
Peso de la muestra seca lavada (gr)	2990.00	2988.00	2989.00
% que pasa N° 200	0.33%	0.40%	0.37%
<b>% que pasa N° 200 promedio</b>	<b>0.37%</b>		

**Tabla 54.** Abrasión del agregado grueso.

A.S.T.M C131 - NTP 400.019						
Gradación	Equipo Mecánico	N° de esferas	Tamaño máximo nominal	N ° Revoluciones	Velocidad	Peso muestra (gr)
B	Máquina de los Ángeles	11	3/4"	500	30-33 rev./min	5000

ENSAYO N°	E-01	E-02	E-03
Peso de la muestra seca al horno (gr)	5000.00	5000.00	5000.00
Peso retenido en la malla n° 12 lavado y secado al horno (gr)	3702.00	3618.00	3659.00
% DESGASTE	25.96%	27.64%	26.82%
<b>% DESGASTE PROMEDIO</b>	<b>26.81%</b>		

# ANEXO II. FICHA TÉCNICA DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I.



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro.150 Urb. El Vivero de Monterrico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 666 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 6000



G-CC-F-04  
Versión 03

## Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150  
Pacasmayo, 20 de Setiembre del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	2.7	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.0	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.92	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	7	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	3750	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.10	NO ESPECIFICA

Resistencia Compresión :			
Resistencia Compresión a 3días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	26.1 (266)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	33.9 (346)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28días (*)	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	42.3 (431)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

Tiempo de Fraguado Vicat :			
Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	267	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-08-2017 al 31-08-2017.  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Julio 2017.  
(\*) Requisito opcional.

**Ing. Gabriel G. Mansilla Fiestas**  
Superintendente de Control de Calidad

Solicitado por : **Distribuidora Norte Pacasmayo S.R.L.**

Esta totalmente prohibida la reproducción total o parcial de este documento sin la autorización de Cementos Pacasmayo S.A.A.



## ANEXO III. FICHA TÉCNICA DEL ADITIVO SIKAMENT 290N.



# HOJA TÉCNICA Sikament®-290N

Aditivo Polifuncional para Concreto

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sikament®-290N es un aditivo polifuncional para concretos que puede ser empleado como plastificante o superplastificante según la dosificación utilizada.

Muy adecuado para plantas de concreto al obtener con un único aditivo dos efectos diferentes sólo por la variación de la proporción del mismo.

Sikament®-290N no contiene cloruros y no ejerce ninguna acción corrosiva sobre las armaduras.

#### USOS

Sikament®-290N está particularmente indicado para:

Todo tipo de concretos fabricados en plantas concreteras con la ventaja

de poder utilizarse como plastificante o superplastificante con sólo variar la dosificación.

En concretos bombeados porque permite obtener consistencias adecuadas sin aumentar la relación agua/cemento.

Transporte a largas distancias sin pérdidas de trabajabilidad.

Concretos fluidos que no presentan segregación ni exudación.

#### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Aumento de las resistencias mecánicas.
- Terminación superficial de alta calidad.
- Mayor adherencia a las armaduras.
- Permite obtener mayores tiempos de manejabilidad de la mezcla a cualquier temperatura.
- Permite reducir hasta el 25% del agua de la mezcla.
- Aumenta considerablemente la impermeabilidad y durabilidad del concreto.
- Facilita el bombeo del concreto a mayores distancias y alturas.

Hoja Técnica  
Sikament®-290N  
22.01.15, Edición 11

- Proporciona una gran manejabilidad de la mezcla evitando segregación y la formación de cangrejeras.
- Reductor de agua.

**NORMAS** Como plastificante cumple con la Norma ASTM C 494, tipo D y como superplastificante con la Norma ASTM C 494, tipo G.

## DATOS BÁSICOS

<b>FORMA</b>	<b>ASPECTO</b> Líquido
	<b>COLOR</b> Pardo oscuro.
	<b>PRESENTACIÓN</b> Cilindro x 200 L Balde x 20 L Dispenser x 1000 L Granel x 1L
	<b>ALMACENAMIENTO</b>
<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b>	Un año en su envase original bien cerrado y bajo techo en lugar fresco resguardado de heladas. Para el transporte debe tomarse las precauciones normales para el manejo de un producto químico.
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<b>DENSIDAD</b> 1,20 kg/L +/- 0,02 <b>USGBC VALORACIÓN LEED</b>  Sikament® -290 N 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**  
Como plastificante: del 0,3 % – 0,7 % del peso del cemento.  
Como superplastificante: del 0,7 % - 1,4 % del peso del cemento.

**MÉTODO DE APLICACIÓN** **MÉTODO DE APLICACIÓN**  
**Como Plastificante.**  
Debe incorporarse junto con el agua de amasado.

Hoja Técnica  
Sikament®-290N  
22.01.15, Edición 11

2/4

BUILDING TRUST



**Como Superplastificante.**

Debe incorporarse preferentemente una vez amasado el concreto y haciendo un re-amasado de al menos 1 minuto por cada m3 de carga de la amasadora o camión concretero.

---

**INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD**

---

**PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACION**

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.

---

**OBSERVACIONES**

La Hoja de Seguridad de este producto se encuentra a disposición del interesado. Agradeceremos solicitarla a nuestro Departamento Comercial, teléfono: 618-6060 o descargarla a través de Internet en nuestra página web: [www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

---

**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 Nº 10**

**la misma que deberá ser destruida”**



**PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sikament®-290N :**

**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, Lotes 5 y 6,  
Lurín  
Lima  
Perú  
[www.sika.com.pe](http://www.sika.com.pe)

Hoja Técnica  
Sikament®-290N  
22.01.15, Edición 11

**Versión elaborada por: Sika Perú S.A.**  
CG, Departamento Técnico  
Telf: 618-6060  
Fax: 618-6070  
Mail: [informacion@pe.sika.com](mailto:informacion@pe.sika.com)



© 2014 Sika Perú S.A.



## ANEXO IV. FICHA TÉCNICA DE FIBRA DE POLIPROPILENO.



Hoja Técnica  
**CHEMA FIBRA ULTRAFINA**  
Fibra de polipropileno para refuerzo tridimensional en morteros  
y concretos, reductor de fisuras.

VERSION: 01  
FECHA: 24/09/2017

**DESCRIPCIÓN** CHEMA FIBRA ULTRAFINA son microfibras sintéticas de polipropileno recomendado como refuerzo del concreto. Esta tecnología única combina un diámetro ultra fino y alta resistencia, obteniendo un alto nivel de prevención de grietas causados por contracción. Más de cien millones de filamentos de alta resistencia y alto módulo crean una red dimensional extremadamente densa en el concreto.

La habilidad de las fibras reduce el agrietamiento en las primeras 24 horas después de colocado el concreto, permitiendo una reducción de la dosis recomendada.

Cumple con los requisitos de la norma ASTM C1116 / C1116M "Especificación Estándar para Hormigón Armado con Fibra" y los requisitos de ICC ES AC32 Sección 3.1.1 Para el refuerzo de contracción plástica.

**VENTAJAS**

- Inhibe y controla la formación de grietas intrínsecas en hormigón.
- Reduce el agrietamiento de la contracción plástica en un promedio del 90% a una dosis de 0,6 kg/m<sup>3</sup> con más de 110 millones de fibras.
- Reduce considerablemente la permeabilidad del hormigón, aumentando así la vida útil del hormigón.
- Proporciona refuerzo tridimensional contra el micro-agrietamiento.
- Aumenta la resistencia al impacto y a la abrasión del hormigón.
- Se presenta como un elemento muy eficaz en mezclas con fibras macro sintéticas y fibras de acero.

**USOS** Recomendado para uso en:

- Construcción de losa sobre suelo.
- Pavimento de hormigón.
- Blanqueado y superposiciones.
- Prefabricados arquitectónicos.
- Hormigón proyectado, decorativo.
- Estuco, tarrajes
- Elementos a base de cemento.
- Elementos marinos, etc.

<b>DATOS TÉCNICOS</b>	Material	: Polipropileno 100% Virgen
	Diseño	: Filamento monolaminar
	Color	: Blanquecino traslúcido
	Gravedad Específica	: 0.91 gr/cm <sup>3</sup>
	Punto de Fusión	: 160°C (320°F)
	Punto de Ignición	: 590°C (1094°F)
	Absorción de Agua	: Cero



## Hoja Técnica CHEMA FIBRA ULTRAFINA

Fibra de polipropileno para refuerzo tridimensional en morteros y concretos, reductor de fisuras.

VERSION: 01  
FECHA: 24/09/2017

Resistencia ácidos y álcalis	: Excelente.
Resistencia a la Tensión	: 70 ksi (480 MPa)
Longitud	: 0.5" (13 mm) & 0.75" (19mm)
Módulo de Elasticidad	: 1230 ksi (4.48 GPa)
Denier	: 0.9

**PREPARACIÓN Y APLICACIÓN DEL PRODUCTO** Agregar una bolsa hidrosoluble de 300g por cada m<sup>3</sup> directamente al mixer de concreto o mortero antes, durante o después que la mezcla de concreto esté listo. Se recomienda seguir los procedimientos de mezcla especificados en ASTM C94.

**RENDIMIENTO** La dosis recomendada es de una bolsa de 300g/m<sup>3</sup> de concreto, mortero o según recomendación del proyectista.

**PRESENTACIÓN** Envase de 300 gr.

**TIEMPO DE ALMACENAMIENTO** Su vida útil es ilimitada si se conserva adecuadamente, almacenado en un lugar fresco, sellado y bajo techo. Debe almacenarse a temperaturas por debajo de 60 °C. Evitar almacenar cerca de oxidantes y evitar fuentes de ignición. Tenga cuidado al apilar para evitar condiciones inestables.

**PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES** No se recomienda esta fibra para su uso como sustituto del refuerzo primario / estructural.

En caso de emergencia, llame al CETOX (Centro Toxicológico 012732318/999012933). Producto tóxico, NO INGERIR, mantenga el producto fuera del alcance de los niños. No comer ni beber mientras manipula el producto. Lavarse las manos luego de manipular el producto. Utilizar guantes, gafas protectoras y ropa de trabajo. Almacene el producto bajo sombra y en ambientes ventilados. En caso de contacto con los ojos y la piel, lávese con abundante agua. Si es ingerido, no provocar vómitos; procurar ayuda médica inmediata.

**“La presente Edición anula y reemplaza la Versión N° 0 para todos los fines”**

La información que suministramos está basada en ensayos que consideramos seguros y correctos de acuerdo a nuestra experiencia. Los usuarios quedan en libertad de efectuar las pruebas y ensayos previos que estimen conveniente, para determinar si son apropiados para un uso en particular. El uso, aplicación y manejo correcto de los productos, quedan fuera de nuestro control y es de exclusiva responsabilidad del usuario.

ATENCIÓN AL CLIENTE:  
(511) 336-8407

Página 2 de 2

## ANEXO V. DISEÑO DE MEZCLAS.

### DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO PERMEABLE MÉTODO DEL COMITÉ ACI 522-10

<b>TESIS</b> :	“EVALUACIÓN DE UNA LOSA DE CONCRETO PERMEABLE VACIADA IN SITU, PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA”.
<b>UBICACIÓN</b> :	UNC - CAJAMARCA
<b>CANTERA</b> :	MARGARITA
<b>TESISTA</b> :	PAREDES GARRIDO, DEENER OLAVI
<b>FECHA</b> :	NOVIEMBRE 2018

## 1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES USADOS EN EL DISEÑO

Tabla 55. Propiedades de los agregados, aditivos, agua y cemento.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES			
<b>AGREGADO FINO</b>	Peso unitario suelto	1619.17	Kg/m <sup>3</sup>
	Peso unitario compactado	1776.63	Kg/m <sup>3</sup>
	Peso específico de masa	2.63	gr/cm <sup>3</sup>
	Contenido de Humedad	3.26	%
	Absorción	1.19	%
	Módulo de fineza	3.034	-----
<b>AGREGADO GRUESO</b>	Perfil	Angular	-----
	Tamaño máximo nominal	3/4"	-----
	Peso unitario suelto	1427.92	Kg/m <sup>3</sup>
	Peso unitario compactado	1548.78	Kg/m <sup>3</sup>
	Peso específico de masa	2.55	gr/cm <sup>3</sup>
	Contenido de Humedad	0.85	%
	Absorción	1.13	%
Módulo de fineza	6.79	-----	
<b>CEMENTO</b>	Tipo	Portland Tipo I	Unidad
	Peso Específico	3.10	gr/cm <sup>3</sup>
<b>AGUA</b>	Potable de red pública		
<b>ADITIVO Sikament®-290N</b>	Peso específico	1.2	kg/lt
	Norma	ASTM C 494	
<b>MICRO FIBRA Chema Fibra Ultrafina</b>	Peso específico	0.91	gr/cm <sup>3</sup>
	Norma	ASTM C 1116	

## 2. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

### 2.1 Resistencia a Compresión.

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$$

### 2.2 Tipo de concreto.

Concreto – Permeable

### 3. DISEÑO BASE I:

#### A. Resistencia promedio requerida

Al no contar con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de desviación estándar, el  $f'_{cr}$  se obtuvo de la siguiente manera:

$$f'_{cr} = 1.2 * f'_c \quad \text{condiciones intermedias en obra}$$

$$f'_{cr} = 252 \text{ kg/cm}^2$$

#### B. Asentamiento

Para esta investigación se tomó:

asentamiento = 0 pulgadas (consistencia seca), de acuerdo con la norma A.S.T.M C143

#### C. Tamaño máximo nominal

$$TMN = 3/4''$$

#### D. Relación A/C

Según Pervious Pavement Organization. ACI 211. 3R – 97 Apéndice 7, ACI Comité 522, recomienda una relación a/c: 0.26 – 0.42

Para la presente investigación asumimos a/c = 0.30

#### E. Cantidad de agregado grueso

De la tabla N° 16 seleccionamos el peso volumétrico seco compactado del agregado grueso ( $b/b_0$ ), según el contenido de agregado fino.

Para el diseño base, el contenido de agregado fino es 10% al cual le corresponde un valor de  $b/b_0 = 0.93$  y utilizamos la siguiente fórmula:

$$b/b_0 = \frac{\text{Peso Agregado Grueso (kg)}}{\text{P.U.S.C Agregado Grueso}}$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = \frac{b}{b_0} * \text{Peso unitario seco compactado A.G}$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 0.93 * 1548.78 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 1440.37 \text{ kg/m}^3$$



## F. Cantidad de cemento

Teniendo en cuenta las consideraciones para el diseño base I, donde el porcentaje de vacíos es el 15% (Figura N° 12), y un contenido de pasta de 0.20 m<sup>3</sup> (Figura N° 13), se obtiene el contenido de cemento con la siguiente ecuación:

Volumen de pasta = volumen de cemento + volumen de agua

$$\text{Volumen de Pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Pe del Cemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Pe del Agua}}$$
$$0.20 = \frac{C}{3.10 * 1000} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right) * c}{1000}$$

Donde:

c = peso del cemento, en kg

a/c = relación agua-cemento

Por lo tanto,

$$0.20 = \frac{C}{3.10 * 1000} + \frac{0.30 * c}{1000}$$

$$C = 321.244 \text{ kg/m}^3$$

## G. Cantidad de agua de diseño

Para a/c = 0.30, reemplazando valores se tiene:

$$\text{Agua de diseño} = \frac{a}{c} * \text{cemento}$$

$$\text{Agua de diseño} = 0.30 * 321.244$$

$$\text{Agua de diseño} = 96.37 \text{ lts}$$

## H. Cantidad de agregado fino

El peso seco del agregado fino es calculado utilizando el método de volúmenes absolutos, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen absoluto de cemento} = \frac{321.244 \text{ kg}}{3.10 * 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.10363 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de vacíos} = \frac{15}{100} = 0.15 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de agua} = \frac{96.37}{1000} = 0.09637 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de agregado grueso} = \frac{1440.37}{2550} = 0.56485 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volúmenes absolutos} = 0.914849 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para  $1\text{m}^3$  de concreto permeable, restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 1 - 0.91485 \text{ m}^3 = 0.08515 \text{ m}^3$$

Finalmente:

$$\text{Peso agregado fino seco} = \text{Volumen abs. Agregado fino} * (\text{Pe Ag. F})$$

$$\text{Peso agregado fino seco} = 0.08515\text{m}^3 * 2630 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Peso agregado fino seco} = 223.947 \text{ kg /m}^3$$

#### I. Pesos secos de los materiales por $\text{m}^3$ de concreto permeable

##### Materiales de diseño:

$$\text{Agua de diseño} = 96.37 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 321.244 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1440.37 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 223.95 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Total} = 2081.93 \text{ kg /m}^3$$

#### J. Corrección por humedad

$$\text{Agua efectiva} = 96.37 - \left(1440.37 * \frac{(0.85-1.13)}{100} + 223.9 * \frac{(3.26-1.19)}{100}\right)$$

$$\text{Agua efectiva} = 95.767 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 321.244 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1440.37 * \frac{(1+0.85)}{100} = 1452.61 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 223.95 * \frac{(1+3.26)}{100} = 231.25 \text{ kg /m}^3$$

##### Se tiene:

$$\text{Agua efectiva} = 95.767 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 321.244 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 231.25 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1452.61 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Total} = 2100.874 \text{ kg /m}^3$$

## K. Determinación del proporcionamiento de materiales

### Proporcionamiento en peso:

$$\frac{321.244}{321.244} : \frac{231.25}{321.244} : \frac{1452.61}{321.244} / \frac{95.767}{321.244} * 42.5$$

$$1 : 0.72 : 4.52 / 12.67 \text{ lt /bolsa}$$

### Proporcionamiento en volumen aparente:

$$\text{Cemento} = 7.56 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 4.88 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 35.62 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua} = 12.67 \text{ lt/bolsa}$$

$$\frac{7.56}{7.56} : \frac{4.88}{7.56} : \frac{35.62}{7.56} / 12.67 \text{ lt/bolsa}$$

$$1 : 0.65 : 4.71 / 12.67 \text{ lt /bolsa}$$

## L. Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño.

### Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

$$\text{Diámetro promedio } D = 0.153\text{m}$$

$$\text{Altura promedio } h = 0.302\text{m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) * h}{4} * 1.07$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi * 0.153^2) * 0.302}{4 * 3} * 1.07 = 0.0178232 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = 0.019804 \text{ m}^3$$

### Aproximando:

$$\text{Volumen} = 0.02 \text{ m}^3$$

### M. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes

$$(v = 0.02\text{m}^3)$$

Agua efectiva	= 95.767 lt/m <sup>3</sup>	* 0.02 m <sup>3</sup>	= 1.92 lt
Cemento	= 321.244 kg /m <sup>3</sup>	* 0.02 m <sup>3</sup>	= 6.42 kg
Agregado fino	= 231.25 kg /m <sup>3</sup>	* 0.02 m <sup>3</sup>	= 4.62 kg
Agregado grueso	= 1452.61 kg /m <sup>3</sup>	* 0.02 m <sup>3</sup>	= 29.05 kg
<b>Total</b>			<b>= 42.012 kg /m<sup>3</sup></b>

### ❖ AJUSTE DE MEZCLAS DEL DISEÑO BASE I

#### 1. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento 0 pulgadas
- Agua adicional 0.200 lts
- Peso unitario del concreto fresco 1978.57 kg/m<sup>3</sup>

#### 2. Rendimiento d la mezcla

$$\text{Rendimiento} = \frac{42.012 \text{ kg}}{1867.02 \text{ kg/m}^3} = 0.021233517$$

#### 3. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene:

Aporte de humedad superficial:

$$\text{Agregado grueso} = 1440.37 * 0.02 * (0.85 - 1.13) / 100 = - 0.0807$$

$$\text{Agregado fino} = 223.95 * 0.02 * (3.26 - 1.19) / 100 = 0.0927$$

$$\text{Volumen abs. de cemento} = 6.42 / (3.10 * 1000) = 0.002071 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agua} = (2.12 - 0.0807 + 0.0927) / 1000 = 0.002132 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de Ag. G} = (1440.37 * 0.02 - 0.0807) / 2550 = 0.011265 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de Ag. F} = (223.95 * 0.02 + 0.0927) / 2630 = 0.001738 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volumen Abs.} = 0.017206 \text{ m}^3$$

#### 4. Por lo tanto, el % de vacíos:

$$\text{Porcentaje de vacíos DBI} = (0.021233517 - 0.017206) / 0.021233517 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos DBI} = 18.96\%$$

#### 4. DISEÑO BASE II:

##### N. Resistencia promedio requerida

Al no contar con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de desviación estándar, el  $f'_{cr}$  se obtuvo de la siguiente manera:

$$f'_{cr} = 1.2 * f'_c \quad \text{condiciones intermedias en obra}$$

$$f'_{cr} = 252 \text{ kg/cm}^2$$

##### O. Asentamiento

Para esta investigación se tomó:

asentamiento = 0 pulgadas (consistencia seca), de acuerdo con la norma A.S.T.M C143

##### P. Tamaño máximo nominal

$$TMN = 3/4''$$

##### Q. Relación A/C

Según Pervious Pavement Organization. ACI 211. 3R – 97 Apéndice 7, ACI Comité 522, recomienda una relación a/c: 0.26 – 0.42

Para la presente investigación asumimos a/c = 0.30

##### R. Cantidad de agregado grueso

De la tabla N° 16 seleccionamos el peso volumétrico seco compactado del agregado grueso ( $b/b_0$ ), según el contenido de agregado fino.

Para el diseño base, el contenido de agregado fino es 10% al cual le corresponde un valor de  $b/b_0 = 0.93$  y utilizamos la siguiente formula:

$$b/b_0 = \frac{\text{Peso Agregado Grueso (kg)}}{\text{P.U.S.C Agregado Grueso}}$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = \frac{b}{b_0} * \text{Peso unitario seco compactado A.G}$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 0.93 * 1548.78 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 1440.37 \text{ kg/m}^3$$

### S. Cantidad de cemento

Teniendo en cuenta las consideraciones para el diseño base I, donde el porcentaje de vacíos es el 17% (Figura N° 12), y un contenido de pasta de 0.25 m<sup>3</sup> (Figura N° 13), se obtiene el contenido de cemento con la siguiente ecuación:

Volumen de pasta = volumen de cemento + volumen de agua

$$\text{Volumen de Pasta} = \frac{\text{Cemento}}{\text{Pe del Cemento}} + \frac{\text{Agua}}{\text{Pe del Agua}}$$
$$0.25 = \frac{C}{3.10 * 1000} + \frac{\left(\frac{a}{c}\right) * c}{1000}$$

Donde:

c = peso del cemento, en kg

a/c = relación agua-cemento

Por lo tanto,

$$0.25 = \frac{C}{3.10 * 1000} + \frac{0.30 * c}{1000}$$

$$C = 401.554 \text{ kg/m}^3$$

### T. Cantidad de agua de diseño

Para a/c = 0.30, reemplazando valores se tiene:

$$\text{Agua de diseño} = \frac{a}{c} * \text{cemento}$$

$$\text{Agua de diseño} = 0.30 * 401.554$$

$$\text{Agua de diseño} = 120.466 \text{ lts}$$

### U. Cantidad de agregado fino

El peso seco del agregado fino es calculado utilizando el método de volúmenes absolutos, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen absoluto de cemento} = \frac{401.554 \text{ kg}}{3.10 * 1000 \text{ kg/m}^3} = 0.12953 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de vacíos} = \frac{17}{100} = 0.17 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de agua} = \frac{120.46}{1000} = 0.12046 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen absoluto de agregado grueso} = \frac{1440.37}{2550} = 0.56485 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volúmenes absolutos} = 0.98485 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para  $1\text{m}^3$  de concreto permeable, restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad, de la siguiente manera:

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 1 - 0.98485 \text{ m}^3 = 0.01515 \text{ m}^3$$

Finalmente:

$$\text{Peso agregado fino seco} = \text{Volumen abs. Agregado fino} * (\text{Pe Ag. F})$$

$$\text{Peso agregado fino seco} = 0.01515\text{m}^3 * 2630 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Peso agregado fino seco} = 39.85 \text{ kg /m}^3$$

#### V. Pesos secos de los materiales por $\text{m}^3$ de concreto permeable

##### Materiales de diseño:

$$\text{Agua de diseño} = 120.46 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 401.554 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1440.37 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 39.85 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Total} = 2002.23 \text{ kg /m}^3$$

#### W. Corrección por humedad

$$\text{Agua efectiva} = 120.46 - \left(1440.37 * \frac{(0.85 - 1.13)}{100} + 39.85 * \frac{(3.26 - 1.19)}{100}\right)$$

$$\text{Agua efectiva} = 123.668 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 401.554 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1440.37 * \frac{(1 + 0.85)}{100} = 1452.61 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 39.85 * \frac{(1 + 3.26)}{100} = 41.15 \text{ kg /m}^3$$

##### Se tiene:

$$\text{Agua efectiva} = 123.668 \text{ lt/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 401.554 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 41.15 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1452.61 \text{ kg /m}^3$$

$$\text{Total} = 2018.98 \text{ kg /m}^3$$

## X. Determinación del proporcionamiento de materiales

### Proporcionamiento en peso:

$$\frac{401.554}{401.554} : \frac{41.15}{401.554} : \frac{1452.61}{401.554} / \frac{123.668}{401.554} * 42.5$$

$$1 : 0.102 : 3.617 / 13.09 \text{ lt /bolsa}$$

### Proporcionamiento en volumen aparente:

$$\text{Cemento} = 9.45 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 0.86 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 35.62 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua} = 13.09 \text{ lt/bolsa}$$

$$\frac{9.45}{9.45} : \frac{0.86}{9.45} : \frac{35.62}{9.45} / 13.09 \text{ lt/bolsa}$$

$$1 : 0.091 : 3.769 / 13.09 \text{ lt /bolsa}$$

## Y. Mezcla de prueba en el laboratorio de diseño.

### Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

$$\text{Diámetro promedio } D = 0.153\text{m}$$

$$\text{Altura promedio } h = 0.302\text{m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) * h}{4} * 1.07$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi * 0.153^2) * 0.302}{4 * 3} * 1.07 = 0.0178232 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = 0.019804 \text{ m}^3$$

### Aproximando:

$$\text{Volumen} = 0.02 \text{ m}^3$$



## Z. Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes

$$(v = 0.02\text{m}^3)$$

Agua efectiva	= 123.668 lt/m <sup>3</sup>	* 0.02 m <sup>3</sup>	= 2.47 lt
Cemento	= 401.554 kg /m <sup>3</sup>	* 0.02 m <sup>3</sup>	= 8.03 kg
Agregado fino	= 41.15 kg /m <sup>3</sup>	* 0.02 m <sup>3</sup>	= 0.82 kg
Agregado grueso	= 1452.61 kg /m <sup>3</sup>	* 0.02 m <sup>3</sup>	= 29.05 kg
<b>Total</b>			<b>= 40.37 kg /m<sup>3</sup></b>

### ❖ PRIMER AJUSTE DE MEZCLAS DEL DISEÑO BASE II

#### 1. Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento	0	pulgadas
- Agua adicional	0.300	lts
- Peso unitario del concreto fresco	1982.76	kg/m <sup>3</sup>

#### 2. Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = \frac{40.37 \text{ kg}}{1982.76 \text{ kg/m}^3} = 0.020360508$$

#### 3. El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene:

Aporte de humedad superficial:

$$\text{Agregado grueso} = 1440.37 * 0.02 * (0.85 - 1.13) / 100 = - 0.0807$$

$$\text{Agregado fino} = 39.85 * 0.02 * (3.26 - 1.19) / 100 = 0.01649$$

$$\text{Volumen abs. de cemento} = 8.03 / (3.10 * 1000) = 0.00259 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agua} = (2.47 - 0.0807 + 0.01649) / 1000 = 0.002554 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de Ag. G} = (1440.37 * 0.02 - 0.0807) / 2550 = 0.011265 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de Ag. F} = (39.85 * 0.02 + 0.01649) / 2630 = 0.000309 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volumen Abs.} = 0.016718 \text{ m}^3$$

#### 4. Por lo tanto, el % de vacíos:

$$\text{Porcentaje de vacíos DBII} = (0.02036050 - 0.016718) / 0.02036050 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos DBII} = 17.89\%$$

## 5. SEGUNDO AJUSTE DE DISEÑO BASE II

### 5.1 Nuevo contenido de agua

La cantidad de agua de diseño, utilizada en 3 especímenes será:

$$\text{Agua de diseño} = 2.77 + 39.85 * 0.02 * \frac{(3.26 - 1.19)}{100} +$$
$$1440.37 * 0.02 * \frac{(0.85 - 1.13)}{100}$$

$$\text{Agua de diseño} = 2.71 \frac{lt}{tanda}$$

La cantidad de agua de mezcla requerido por m<sup>3</sup> con el mismo asentamiento de la mezcla de prueba será:

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = \frac{2.71}{0.0203545534}$$

$$\text{Agua de mezclado por m}^3 = 132.935 \text{ lts/m}^3$$

### 5.2 Nuevo contenido de cemento

Para mantener la relación agua – cemento igual a 0.30 se tiene lo siguiente:

$$\text{Nuevo contenido de cemento} = \frac{\text{agua}}{a/c}$$

$$\text{Nuevo contenido de cemento} = \frac{132.935}{0.30}$$

$$\text{Nuevo contenido de cemento} = 443.117 \text{ kg/m}^3$$

### 5.3 Nuevo contenido de cemento

- Teniendo en cuenta la consistencia Seca:

Se corrige el contenido de agregado grueso, para mejorar las propiedades reológicas de la mezcla, reduciendo en 10 % el valor inicial de b/b<sub>0</sub> igual a 0.93:

$$\frac{b}{b_0} = 0.93 - 0.10 * 0.93$$

$$\frac{b}{b_0} = 0.84$$

Entonces, el nuevo contenido de agregado grueso:

$$\text{Peso Ag. grueso} = b/b_0 \times \text{Peso unitario seco compactado Ag. Grueso}$$

$$\text{Peso Ag. grueso} = 0.84 \times 1548.78 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso Ag. grueso} = 1300.98 \text{ kg/m}^3$$

#### 5.4 Nuevo contenido de agregado fino

El peso seco del agregado fino se calcula utilizando el método de volúmenes absolutos.

Por el método de volúmenes absolutos se tiene:

$$\text{Volumen abs. de cemento} = (443.117 \text{ kg}) / (3100 \text{ kg/m}^3) = 0.142941 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de vacíos} = (16) / (100) = 0.16 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agua} = (132.935) / (1000) = 0.132935 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agregado grueso} = (1300.98) / (2550) = 0.510188 \text{ m}^3$$

$$\text{Sumatoria de volúmenes absolutos} = 0.946064 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, obtenemos el volumen absoluto de agregado fino para  $1\text{m}^3$  de concreto permeable restando la sumatoria de volúmenes absolutos de la unidad:

$$\text{Volumen absoluto de agregado fino} = 1 - 0.946064 = 0.053936 \text{ m}^3$$

Finalmente, obtenemos el peso del agregado fino seco:

$$\text{Peso del agregado fino seco} = \text{Volumen absoluto de ag. fino} * (\text{Pe ag. fino})$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 0.053936 \text{ m}^3 * 2630 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso del agregado fino seco} = 141.852 \text{ kg}$$

#### 5.5 Resumen de los pesos secos de los materiales por $\text{m}^3$ de concreto permeable

$$\text{Agua de diseño} = 132.935 \text{ lt} / \text{m}^3$$

$$\text{Cemento} = 443.117 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1300.98 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 141.852 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Total} = 2018.88 \text{ kg} / \text{m}^3$$

#### 5.6 Los pesos ajustados por $\text{m}^3$ de concreto corregidos por humedad serán:

$$\text{Agua efectiva} = 132.935 - (1300.98 * \frac{(0.85-1.13)}{100}) + 141.85 * \frac{(3.26-1.19)}{100}$$

$$\text{Agua efectiva} = 133.641 \text{ lts/m}^3$$

$$\text{Cemento} = 443.117 \text{ kg} / \text{m}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 1300.98 * \frac{(1+0.85)}{100} = 1312.04 \text{ kg / m}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 141.85 * \frac{(1+3.26)}{100} = 146.476 \text{ kg / m}^3$$

$$\text{Total} = 2035.27 \text{ kg/m}^3$$

### 5.7 Determinación del proporcionamiento de los materiales

➤ **Proporción en peso:**

$$\frac{443.117}{443.117} : \frac{146.476}{443.117} : \frac{1312.04}{443.117} / \frac{133.641}{443.117} * 42.5$$

$$1 : 0.331 : 2.961 / 12.82 \text{ lt /bolsa}$$

➤ **Proporción en volumen aparente:**

$$\text{Cemento} = 10.43 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 3.09 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 32.18 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua} = 12.82 \text{ lt/bolsa}$$

$$\frac{10.43}{10.43} : \frac{3.09}{10.43} : \frac{32.18}{10.43} / 12.82 \text{ lt/bolsa}$$

$$1 : 0.296 : 3.769 / 12.82 \text{ lt /bolsa}$$

### 5.8 Mezcla de prueba en el laboratorio de reajuste de diseño base

#### Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

$$\text{Diámetro promedio } D = 0.153\text{m}$$

$$\text{Altura promedio } h = 0.302\text{m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) * h}{4} * 1.07$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi * 0.153^2) * 0.302}{4 * 3} * 1.07 = 0.0178232 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = 0.019804 \text{ m}^3$$

**Aproximando:**

$$\text{Volumen} = 0.02 \text{ m}^3$$

## 5.9 Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes ( $v = 0.02\text{m}^3$ )

Agua efectiva	= 133.641 lts/ $\text{m}^3$	* 0.02 $\text{m}^3$	= 2.67 lt
Cemento	= 443.117 kg / $\text{m}^3$	* 0.02 $\text{m}^3$	= 8.86 kg
Agregado fino	= 146.476 kg / $\text{m}^3$	* 0.02 $\text{m}^3$	= 2.93 kg
Agregado grueso	= 1312.04 kg / $\text{m}^3$	* 0.02 $\text{m}^3$	= 26.24 kg
<b>Total</b>			<b>= 40.70 kg /<math>\text{m}^3</math></b>

## 5.10 Datos de la mezcla de prueba de laboratorio

### 5.10.1 Datos de prueba de laboratorio

- Asentamiento 0 pulgadas
- Agua adicional 0.000 lts
- Peso unitario del concreto fresco 1991.35 kg/ $\text{m}^3$

### 5.10.2 Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = \frac{40.70 \text{ kg}}{1991.35 \text{ kg}/\text{m}^3} = 0.020438396$$

### 5.10.3 El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene:

Aporte de humedad superficial:

$$\text{Agregado grueso} = 1300.98 * 0.02 * (0.85 - 1.13) / 100 = - 0.07286$$

$$\text{Agregado fino} = 141.852 * 0.02 * (3.26 - 1.19) / 100 = 0.05873$$

$$\text{Volumen abs. de cemento} = 8.86 / (3.10 * 1000) = 0.002858 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de agua} = (2.67 - 0.07286 + 0.05873) / 1000 = 0.002656 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de Ag. G} = (1300.98 * 0.02 - 0.07286) / 2550 = 0.010175 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen abs. de Ag. F} = (141.852 * 0.02 + 0.05873) / 2630 = 0.001101 \text{ m}^3$$

$$\text{Total, de volumen Abs.} = 0.016790 \text{ m}^3$$

### 5.10.4 Por lo tanto, el % de vacíos:

$$\text{Porcentaje de vacíos DBII} = (0.020438396 - 0.016790) / 0.020438396 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos DBII} = 17.85\%$$

## 6. AJUSTE DE DISEÑO BASE II + ADITIVO PLASTIFICANTE

### 6.1 Los pesos ajustados por m<sup>3</sup> de concreto corregidos por humedad.

Cemento	= 443.117 kg
Agregado fino	= 146.476 kg
Agregado grueso	= 1312.04 kg
Agua de mezclado	= 133.641 lts
<b>Total</b>	<b>= 2035.27 kg</b>
Aditivo (0.3% de peso de cemento)	= 1329.35 ml

### 6.2 Determinación del proporcionamiento de los materiales.

#### ✓ Proporción en peso:

$$\frac{443.117}{443.117} : \frac{146.476}{443.117} : \frac{1312.04}{443.117} / \frac{133.641}{443.117} * 42.5$$

$$1 : 0.331 : 2.961 / 12.82 \text{ lt /bolsa}$$

#### ✓ Proporción en volumen aparente:

$$\text{Cemento} = 10.43 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 3.09 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 32.18 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua} = 12.82 \text{ lt/bolsa}$$

$$\frac{10.43}{10.43} : \frac{3.09}{10.43} : \frac{32.18}{10.43} / 12.82 \text{ lt/bolsa}$$

$$1 : 0.296 : 3.769 / 12.82 \text{ lt /bolsa}$$

### 6.3 Mezcla de prueba en el laboratorio de reajuste de diseño base

#### Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

$$\text{Diámetro promedio } D = 0.153\text{m}$$

$$\text{Altura promedio } h = 0.302\text{m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) * h}{4} * 1.07$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi * 0.153^2) * 0.302}{4 * 3} * 1.07 = 0.0178232 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = 0.019804 \text{ m}^3$$

$$\text{Aproximando: Volumen} = 0.02 \text{ m}^3$$

#### 6.4 Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes ( $v = 0.02\text{m}^3$ )

Agua efectiva	= 133.641 lts/ $\text{m}^3$	* 0.02 $\text{m}^3$	= 2.67 lt
Cemento	= 443.117 kg / $\text{m}^3$	* 0.02 $\text{m}^3$	= 8.86 kg
Agregado fino	= 146.476 kg / $\text{m}^3$	* 0.02 $\text{m}^3$	= 2.93 kg
Agregado grueso	= 1312.04 kg / $\text{m}^3$	* 0.02 $\text{m}^3$	= 26.24 kg
<b>Total</b>			<b>= 40.70 kg /<math>\text{m}^3</math></b>
Aditivo (0.7% de peso de cemento)			= 0.06202 lts

### 7. VERIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE PRUEBA.

#### 7.1 Datos de la prueba de laboratorio:

Asentamiento	0	pulgadas
Agua adicional	0.000	lts
Peso unitario del concreto fresco	1994.06	kg/ $\text{m}^3$

#### 7.2 Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = \frac{40.76 \text{ kg}}{1994.06 \text{ kg}/\text{m}^3} = 0.020440709$$

#### 7.3 El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene:

Aporte de humedad superficial:

$$\begin{aligned}\text{Agregado grueso} &= 1300.98 * 0.02 * (0.85 - 1.13) / 100 = -0.07286 \\ \text{Agregado fino} &= 141.852 * 0.02 * (3.26 - 1.19) / 100 = 0.05873\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volumen abs. de cemento} &= 8.86 / (3.10 * 1000) = 0.002858 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen abs. de agua} &= (2.67 - 0.07286 + 0.05873) / 1000 = 0.002656 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen abs. de Ag. G} &= (1300.98 * 0.02 - 0.07286) / 2550 = 0.010175 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen abs. de Ag. F} &= (141.852 * 0.02 + 0.05873) / 2630 = 0.001101 \text{ m}^3 \\ \text{Aditivo Sikament - 290n} &= (0.06202 / 1200) = 0.000052 \text{ m}^3 \\ \text{Total, de volumen Abs.} &= 0.016842 \text{ m}^3\end{aligned}$$

#### 7.4 Por lo tanto, el % de vacíos:

$$\text{Porcentaje de vacíos DBII} = (0.02044070 - 0.016842) / 0.02044070 * 100$$

$$\text{Porcentaje de vacíos DBII} = 17.60 \%$$

De la ACI 522, Gráfico A 7.5.2. Contenido de vacíos vs Permeabilidad

Para un 17.60% de vacíos se tiene una percolación = 66.90 mm/s

## 8. AJUSTE DE DISEÑO BASE II + ADITIVO PLASTIFICANTE + FIBRA DE POLIPROPILENO

### 8.1 Los pesos ajustados por m<sup>3</sup> de concreto corregidos por humedad.

Cemento	= 443.117 kg
Agregado fino	= 146.476 kg
Agregado grueso	= 1312.04 kg
Agua de mezclado	= 133.641 lts
<b>Total</b>	<b>= 2035.27 kg</b>

### 8.2 Determinación del proporcionamiento de los materiales.

#### ✓ Proporción en peso:

$$\frac{443.117}{443.117} : \frac{146.476}{443.117} : \frac{1312.04}{443.117} / \frac{133.641}{443.117} * 42.5$$

$$1 : 0.331 : 2.961 / 12.82 \text{ lt /bolsa}$$

#### ✓ Proporción en volumen aparente:

$$\text{Cemento} = 10.43 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado fino} = 3.09 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agregado grueso} = 32.18 \text{ pie}^3$$

$$\text{Agua} = 12.82 \text{ lt/bolsa}$$

$$\frac{10.43}{10.43} : \frac{3.09}{10.43} : \frac{32.18}{10.43} / 12.82 \text{ lt/bolsa}$$

$$1 : 0.296 : 3.769 / 12.82 \text{ lt /bolsa}$$

### 8.3 Mezcla de prueba en el laboratorio de reajuste de diseño base

#### Cálculo de volumen para tres especímenes cilíndricos

$$\text{Diámetro promedio } D = 0.153\text{m}$$

$$\text{Altura promedio } h = 0.302\text{m}$$

$$\text{Desperdicios} = 1.07$$

$$\text{N}^\circ \text{ de testigos} = 3$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi D^2) * h}{4} * 1.07$$

$$\text{Volumen} = \frac{(\pi * 0.153^2) * 0.302}{4 * 3} * 1.07 = 0.0178232 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen} = 0.019804 \text{ m}^3$$

$$\text{Aproximando: Volumen} = 0.02 \text{ m}^3$$



#### 8.4 Materiales corregidos por humedad para 3 especímenes ( $v = 0.02\text{m}^3$ )

Agua efectiva	=	133.641 lts/m <sup>3</sup>	*	0.02 m <sup>3</sup>	=	2.67 lt
Cemento	=	443.117 kg / m <sup>3</sup>	*	0.02 m <sup>3</sup>	=	8.86 kg
Agregado fino	=	146.476 kg / m <sup>3</sup>	*	0.02 m <sup>3</sup>	=	2.93 kg
Agregado grueso	=	1312.04 kg / m <sup>3</sup>	*	0.02 m <sup>3</sup>	=	26.24 kg
<b>Total</b>					=	<b>40.70 kg /m<sup>3</sup></b>
Aditivo (0.7% de peso de cemento)					=	0.06202 lt
Chema fibra Ultrafina 300gr/m <sup>3</sup>	=	300*0.02/1000			=	0.006 kg

### 9. VERIFICACIÓN DE LA MEZCLA DE PRUEBA.

#### 9.1 Datos de la prueba de laboratorio:

Asentamiento	0	pulgadas
Agua adicional	0.000	lts
Peso unitario del concreto fresco	1996.97	kg/m <sup>3</sup>

#### 9.2 Rendimiento de la mezcla

$$\text{Rendimiento} = \frac{40.77 \text{ kg}}{1996.97 \text{ kg/m}^3} = 0.020415930$$

#### 9.3 El volumen absoluto de los materiales sin considerar los vacíos en la mezcla de ensayo inicial se tiene:

Aporte de humedad superficial:

$$\begin{aligned}\text{Agregado grueso} &= 1300.98 * 0.02 * (0.85 - 1.13) / 100 = -0.07286 \\ \text{Agregado fino} &= 141.852 * 0.02 * (3.26 - 1.19) / 100 = 0.05873\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volumen abs. de cemento} &= 8.86 / (3.10 * 1000) = 0.002858 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen abs. de agua} &= (2.67 - 0.07286 + 0.05873) / 1000 = 0.002656 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen abs. de Ag. G} &= (1300.98 * 0.02 - 0.07286) / 2550 = 0.010175 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen abs. de Ag. F} &= (141.852 * 0.02 + 0.05873) / 2630 = 0.001101 \text{ m}^3 \\ \text{Aditivo Sikament - 290n} &= (0.06202 / 1200) = 0.000052 \text{ m}^3 \\ \text{Chema fibra Ultrafina} &= (0.006 / 910) = 0.000007 \text{ m}^3 \\ \text{Total, de volumen Abs.} &= 0.016849 \text{ m}^3\end{aligned}$$

#### 9.4 Por lo tanto, el % de vacíos:

$$\begin{aligned}\text{Porcentaje de vacíos DBII} &= (0.02041593 - 0.016849) / 0.02041593 * 100 \\ \text{Porcentaje de vacíos DBII} &= 17.47\%\end{aligned}$$

## ANEXO VI. ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN

**Tabla 56.** Resumen de datos de laboratorio de los diseños DBI y ADBI.

Datos de Especímenes	Especímenes					
Código	I-DBI-1(3)	I-DBI-2(3)	I-DBI-3(3)	I-ADBI-1(3)	I-ADBI-2(3)	I-ADBI-3(3)
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días
Carga Última (Tn)	22.17	21.44	23.99	23.90	22.59	24.56
Carga Última (KN)	217.39	210.30	235.27	234.42	221.56	240.87
Carga Última (Kg)	22167.18	21444.32	23990.77	23904.18	22592.63	24561.56
Diámetro (cm)	14.90	15.00	15.00	15.00	14.90	15.00
Área (cm <sup>2</sup> )	174.37	176.71	176.71	176.71	174.37	176.71
Altura (cm)	30.50	30.40	30.50	30.30	30.00	30.50
Volumen (m <sup>3</sup> )	0.005318	0.005372	0.005390	0.005354	0.005231	0.005390
Peso C° endurecido (kg)	11.896	11.987	11.968	11.887	11.996	11.968
PU C° endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1969.57	1984.64	1981.46	1968.08	1986.13	1981.51
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	197947.47	200223.15	199742.28	197722.87	200448.68	199749.79
Tipo de falla	4	5	6	6	4	4
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil

**Tabla 57.** Resumen de datos de laboratorio de los diseños DBII y ADBII

Datos de Especímenes	Especímenes					
Código	II-DBII-1(3)	II-DBII-2(3)	II-DBII-3(3)	II-ADBII-1(3)	II-ADBII-2(3)	II-ADBII-3(3)
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días
Carga Última (Tn)	24.70	24.88	27.10	26.53	27.53	27.12
Carga Última (KN)	242.24	243.96	265.72	260.16	270.01	265.98
Carga Última (Kg)	24701.16	24876.83	27095.65	26528.39	27532.75	27122.15
Diámetro (cm)	15.00	14.90	15.00	15.00	15.05	15.00
Área (cm <sup>2</sup> )	176.71	174.37	176.71	176.71	177.89	176.71
Altura (cm)	30.40	30.40	30.50	30.30	30.50	30.50
Volumen (m <sup>3</sup> )	0.005372	0.005301	0.005390	0.005354	0.005426	0.005390
Peso C° endurecido (kg)	11.985	11.976	11.966	11.990	12.113	11.980
PU C° endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1984.30	1982.81	1981.16	1985.13	2005.50	1983.41
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	200173.04	199947.60	199697.22	200298.31	203388.36	200037.77
Tipo de falla	6	4	6	5	4	5
Modo de falla	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil	Frágil

**Tabla 58.** Resumen de datos de laboratorio de los diseños DBII-AD1 y ADBII-AD1-FPP1.

Datos de Especímenes	Especímenes					
	II-DBII-AD1- (1, 2 y 3)			II-ADBII-AD1-FPP1- (1, 2 y 3)		
Código						
Edad de ensayo	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días	7 Días
Carga Última (Tn)	29.07	30.38	29.73	31.71	29.35	30.53
Carga Última (KN)	285.11	297.94	291.58	310.97	287.84	299.37
Carga Última (Kg)	29073.08	30380.77	29732.23	31709.67	29350.65	30526.30
Diámetro (cm)	15.00	15.00	15.00	15.00	14.80	14.90
Área (cm <sup>2</sup> )	176.71	176.71	176.71	176.71	172.03	174.37
Altura (cm)	30.50	30.40	30.50	30.40	30.50	30.40
Volumen (m <sup>3</sup> )	0.005390	0.005372	0.005390	0.005372	0.005247	0.005301
Peso C° endurecido (kg)	11.996	12.078	12.058	12.072	12.115	11.998
PU C° endurecido (kg/m <sup>3</sup> )	1986.09	1999.70	1996.39	1998.63	2005.83	1986.46
Módulo de elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	200443.67	202507.48	202004.68	202344.02	203438.74	200498.81
Tipo de falla	3	2	3	2	2	3
Modo de falla	Dúctil	Frágil	Dúctil	Dúctil	Dúctil	Frágil

**Tabla 59.** Resultados de datos de laboratorio de la prueba “Descripción visual-manual de los suelos” (A.S.T.M.D – 2488).

Nombre del ensayo	Símbolo
Color	ON
Sacudimiento	RL
Rotura	A
Plasticidad	CT
Brillo	SB

**Tabla 60.** Resumen de datos de laboratorio del diseño II-ADBII-AD1.

DATOS DE LABORATORIO												
CÓDIGO DE DISEÑO : II-ADBII-AD1							Ensayo a los 7 días					
Diseño N°	Carga Última (Tn)	Carga Última (KN)	Carga Última (Kg)	Diámetro (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	Altura (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	P C° endur. (kg)	PU C° endur. (kg)	Ec (kg/m <sup>3</sup> )	Tipo de falla	Modo de falla
1(15)	29.78	291.99	29774.64	15.0	176.7	30.5	0.005390	11.917	1973.05	198471.86	3	Dúctil
2(15)	28.49	279.35	28485.33	14.8	172.0	30.4	0.005230	11.983	1983.97	200122.93	3	Dúctil
3(15)	29.98	294.00	29979.63	15.0	176.7	30.5	0.005390	11.891	1968.74	197822.68	2	Frágil
4(15)	29.09	285.24	29086.03	14.9	174.4	30.3	0.005283	11.982	1983.81	200097.88	3	Dúctil
5(15)	30.17	295.86	30168.71	15.0	176.7	30.5	0.005390	11.967	1981.32	199722.25	2	Dúctil
CÓDIGO DE DISEÑO : II-ADBII-AD1							Ensayo a los 14 días					
6(15)	34.57	338.97	34564.62	14.9	174.4	30.5	0.005318	11.974	1982.48	199897.52	3	Dúctil
7(15)	37.49	367.61	37484.70	15.0	176.7	30.5	0.005390	11.958	1979.83	199496.99	3	Dúctil
8(15)	36.76	360.48	36758.40	15.0	176.7	30.3	0.005354	11.963	1980.66	199622.13	3	Dúctil
9(15)	34.27	336.07	34269.10	14.8	172.0	30.0	0.005161	11.895	1969.40	197922.51	3	Frágil
10(15)	38.90	381.45	38896.65	15.0	176.7	30.4	0.005372	11.978	1983.15	199997.69	2	Dúctil
CÓDIGO DE DISEÑO : II-ADBII-AD1							Ensayo a los 28 días					
11(15)	41.45	406.51	41451.94	15.0	176.7	30.0	0.005301	11.979	1983.31	200022.74	2	Dúctil
12(15)	39.96	391.84	39956.03	14.9	174.4	30.5	0.005318	11.967	1981.32	199722.25	3	Frágil
13(15)	41.15	403.50	41144.46	15.0	176.7	30.4	0.005372	11.994	1985.79	200398.56	3	Dúctil
14(15)	42.07	412.54	42066.91	15.0	176.7	30.5	0.005390	11.999	1986.62	200523.88	3	Dúctil
15(15)	41.73	409.27	41732.92	15.0	176.7	30.0	0.005301	11.997	1986.29	200473.75	3	Dúctil

**Tabla 61.** Resumen de datos de laboratorio del diseño II-ADBII-AD1-FPP1.

<b>DATOS DE LABORATORIO</b>												
<b>CÓDIGO DE DISEÑO : II-ADBII-AD1-FPP1</b>							<b>Ensayo a los 7 días</b>					
<b>Diseño N°</b>	<b>Carga Última (Tn)</b>	<b>Carga Última (KN)</b>	<b>Carga Última (Kg)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Área (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>P C° endur. (kg)</b>	<b>PU C° endur. (kg)</b>	<b>Ec (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tipo de falla</b>	<b>Modo de falla</b>
1(15)	29.24	286.76	29240.55	14.8	172.0	30.5	0.005247	11.913	1972.38	198371.94	3	Dúctil
2(15)	31.22	306.19	31221.93	15.0	176.7	30.5	0.005390	11.981	1983.64	200072.83	2	Frágil
3(15)	30.46	298.68	30456.55	14.9	174.4	30.3	0.005283	11.895	1969.40	197922.51	3	Dúctil
4(15)	31.56	309.50	31559.46	15.0	176.7	30.4	0.005372	11.984	1984.14	200147.98	3	Dúctil
5(15)	31.07	304.68	31068.19	15.0	176.7	30.0	0.005301	11.960	1980.17	199547.04	2	Dúctil
<b>CÓDIGO DE DISEÑO : II-ADBII-AD1-FPP1</b>							<b>Ensayo a los 14 días</b>					
6(15)	36.61	358.98	36604.71	14.9	174.4	30.0	0.005231	11.985	1984.30	200173.04	2	Dúctil
7(15)	36.55	358.44	36550.26	14.8	172.0	30.5	0.005247	11.967	1981.32	199722.25	2	Dúctil
8(15)	38.83	380.81	38831.26	15.0	176.7	30.4	0.005372	11.971	1981.99	199822.40	3	Dúctil
9(15)	38.32	375.75	38315.26	15.0	176.7	30.0	0.005301	11.889	1968.41	197772.78	3	Dúctil
10(15)	38.95	381.92	38944.36	15.0	176.7	30.5	0.005390	11.976	1982.81	199947.60	3	Dúctil
<b>CÓDIGO DE DISEÑO : II-ADBII-AD1-FPP1</b>							<b>Ensayo a los 28 días</b>					
11(15)	43.64	427.97	43639.77	14.8	172.0	30.3	0.005213	11.988	1984.80	200248.20	3	Dúctil
12(15)	45.73	448.48	45731.97	15.0	176.7	30.4	0.005372	11.992	1985.46	200348.43	2	Dúctil
13(15)	44.79	439.22	44787.71	14.9	174.4	30.5	0.005318	11.986	1984.47	200198.09	2	Dúctil
14(15)	45.98	450.89	45977.60	15.0	176.7	30.5	0.005390	11.995	1985.96	200423.62	3	Dúctil
15(15)	45.58	446.98	45578.23	15.0	176.7	30.4	0.005372	11.993	1985.63	200373.49	2	Dúctil

## ANEXO VIII. DATOS DE LABORATORIO

**Tabla 62.** Características del Cemento Pórtland tipo I

Normas ASTM y NTP	ASTM C150 NTP 334.009
<b>Resistencia a la Compresión</b>	
a) Resistencia compresión a 3 días	122 kg/cm <sup>2</sup> , mínimo
b) Resistencia compresión a 7 días	193 kg/cm <sup>2</sup> , mínimo
c) Resistencia compresión a 28 días	285 kg/cm <sup>2</sup> , mínimo
<b>Tiempo de Fraguado Vicat</b>	
a) Fraguado inicial, mínimo	45 minutos
b) Fraguado final, mínimo	375 minutos
<b>Contenido de Aire</b>	12%, máximo
<b>Finura, Superficies Especifica</b>	2.600 cm <sup>2</sup> /g, mínimo
<b>Expansión en autoclave</b>	0.80%, máximo

**Tabla 63.** Dosificación de materiales sin aditivo y para un  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$

Material	Peso por m <sup>3</sup>	Tanda para 3 especímenes (kg)
Cemento	321.24 kg	6.42
Agua Efectiva	95.767 lts	1.92
Agregado Fino	231.25 kg	4.62
Agregado Grueso	1452.61 kg	29.05

**Tabla 64.** Muestras de concreto para ensayo a compresión.

Código de diseño	TMN	% Vacíos	Peso Unitario	a/c
I-DBI-1(1)	3/4" – N°67	15	1953.34 kg/m <sup>3</sup>	0.30
I-DBI-1(2)	3/4" – N°67		1827.02 kg/m <sup>3</sup>	
I-DBI-1(3)	3/4" – N°67		1978.57 kg/m <sup>3</sup>	

**Tabla 65.** Dosificación de materiales con aditivo y para un  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ 

Material	Peso por $\text{m}^3$	Tanda para 3 especímenes (kg)
Cemento	443.117 kg	8.86
Agua Efectiva	133.641 lts	2.67
Agregado Fino	146.476 kg	2.93
Agregado Grueso	1312.04 kg	26.24
Aditivo Sikament 290n	3.10 lts	62.02 mlts

**Tabla 66.** Muestras de concreto para ensayo a compresión.

Código de diseño	TMN	% Vacíos	Peso Unitario	a/c
II-DBII-AD1-1(1)	3/4" – N°67	17	1982.76 $\text{kg/m}^3$	0.30
II-DBII-AD1-1(2)	3/4" – N°67		1994.06 $\text{kg/m}^3$	
II-DBII-AD1-1(3)	3/4" – N°67		1991.35 $\text{kg/m}^3$	

**Tabla 67.** Dosificación de materiales con aditivo polifuncional mas fibra de polipropileno y para un  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ 

Material	Peso por $\text{m}^3$	Tanda para 3 especímenes (kg)
Cemento	443.117 kg	8.86
Agua Efectiva	133.641 lts	2.67
Agregado Fino	146.476 kg	2.93
Agregado Grueso	1312.04 kg	26.24
Aditivo Sikament 290n	3.10 lts	62.02 mlts
Chema Fibra Ultrafina	300 gr	0.006

**Tabla 68.** Muestras de concreto para ensayo a compresión.

Código de diseño	TMN	% Vacíos	Peso Unitario	a/c
II-DBII-AD1-FPP1-1(1)	3/4" – N°67	17	1993.36 $\text{kg/m}^3$	0.30
II-DBII-AD1-FPP1-1(2)	3/4" – N°67		1996.97 $\text{kg/m}^3$	
II-DBII-AD1-FPP1-1(3)	3/4" – N°67		1994.65 $\text{kg/m}^3$	

**Tabla 69.** Dosificación de materiales con aditivo y para un  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ 

Material	Peso por $\text{m}^3$	Tanda para 5 especímenes (kg)
Cemento	443.117 kg	13.29
Agua Efectiva	133.641 lts	4.01
Agregado Fino	146.476 kg	4.39
Agregado Grueso	1312.04 kg	39.36
Aditivo Sikament 290n	3.10 lts	93.05 mlts

**Tabla 70.** Dosificación de materiales con aditivo polifuncional mas fibra de polipropileno y para un  $f'c = 210\text{kg/cm}^2$ 

Material	Peso por $\text{m}^3$	Tanda para 5 especímenes (kg)
Cemento	443.117 kg	13.29
Agua Efectiva	133.641 lts	4.01
Agregado Fino	146.476 kg	4.39
Agregado Grueso	1312.04 kg	39.36
Aditivo Sikament 290n	3.10 lts	93.05 mlts
Chema Fibra Ultrafina	300 gr	0.009

**Tabla 71.** Cantidad de materiales para la losa de concreto permeable.

MATERIALES		CANTIDAD	UNIDAD
CEMENTO	=	265.87	Kg
AGREGADO FINO	=	87.89	Kg
AGREGADO GRUESO	=	787.22	Kg
AGUA EFECTIVA	=	80.18	Lts
ADITIVO SIKAMENT-290N	=	1.86	Lts
CHEMA FIBRA ULTRAFINA	=	1.80	Kg



**Tabla 72.** coeficiente de permeabilidad del diseño ADBII-AD1-FPP1.

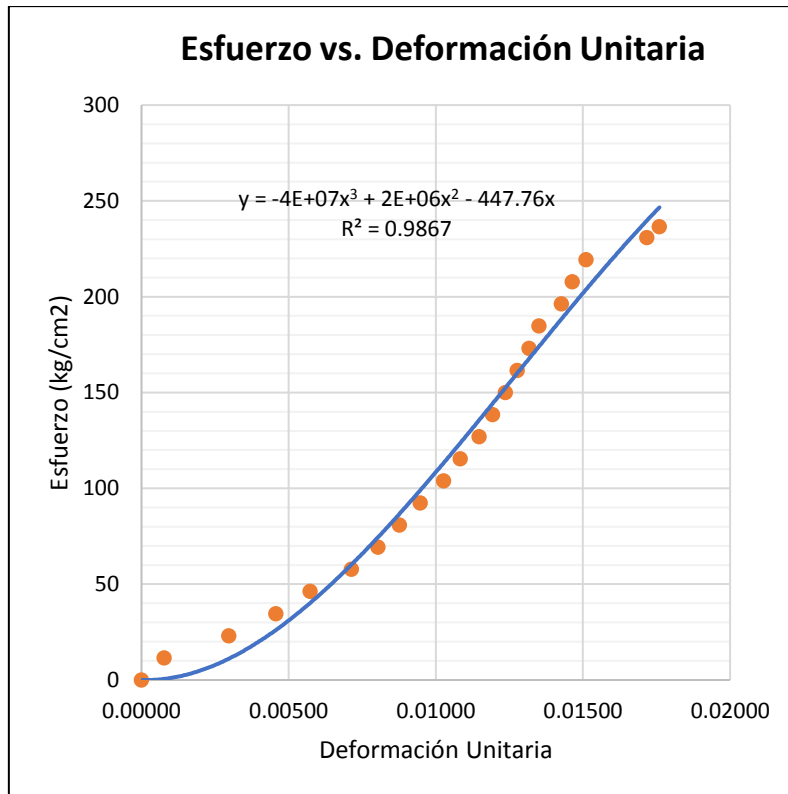
COEFICIENTE DE PERMEABILIDAD (K)									
N° Muestra	Longitud de muestra (cm)	Diámetro de muestra (cm)	Área de muestra (cm <sup>2</sup> )	Área de tubería "a"(cm <sup>2</sup> )	Altura de agua "h1" (cm)	Altura de salida agua "h2"(cm)	Tiempo (sg)	k (cm/s)	k (mm/s)
1	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	12.86	0.22	2.19
2	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	10.70	0.26	2.63
3	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	18.04	0.16	1.56
4	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	16.93	0.17	1.66
5	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	13.19	0.21	2.14
6	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	9.88	0.29	2.85
7	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	11.05	0.25	2.55
8	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	12.87	0.22	2.19
9	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	10.90	0.26	2.58
10	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	12.10	0.23	2.33
11	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	9.96	0.28	2.83
12	15.00	10.00	78.54	80.91	30.00	25.00	12.74	0.22	2.21
<b>PROMEDIO</b>									<b>2.31</b>

**Tabla 73.** Tasa de infiltración de la losa de concreto permeable.

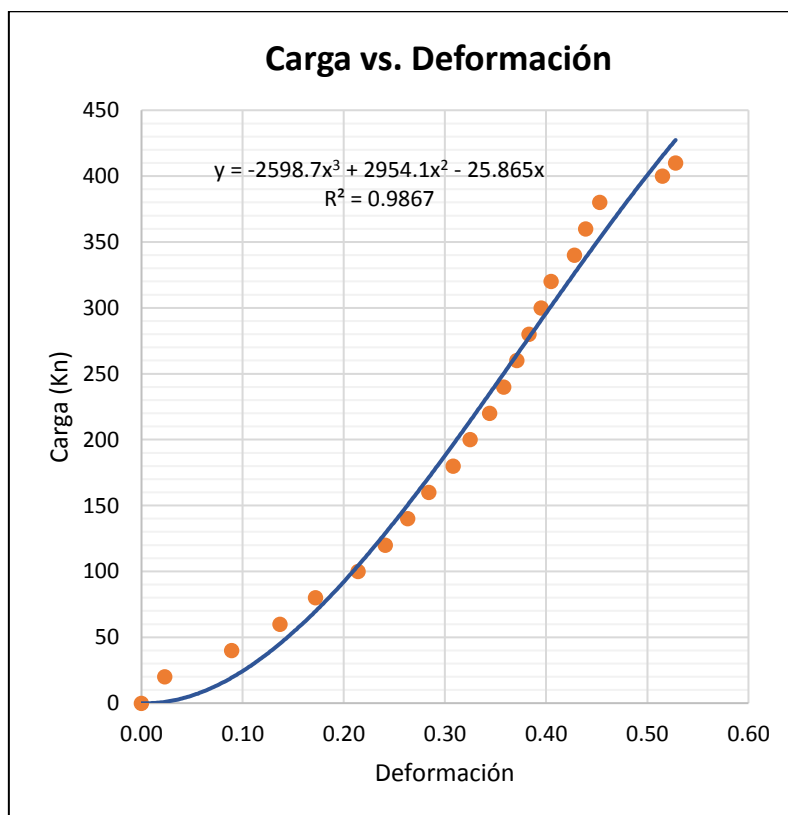
TASA DE INFILTRACIÓN (I)						
N° de Prueba	N° de ensayos	Masa de agua (kg)	Diámetro interior del anillo (mm)	Tiempo que demora en infiltrar (sg)	Factor K (SI)	Tasa de infiltración (mm/h)
I	1	20	300	37.42	4583666000	27220.54
	2	20	300	36.78	4583666000	27694.19
II	1	18	300	34.96	4583666000	26222.35
	2	18	300	35.64	4583666000	25722.03
<b>PROMEDIO</b>						<b>26714.78</b>

**Tabla 74.** Deformación Unitaria del diseño II-ADBII-AD1.

<b>ESFUERZO A COMPRESIÓN Y DEFORMACIÓN</b>					
<b>Código de espécimen:</b>		<b>II-ADBII-AD1</b>			
<b>Fecha de rotura:</b>		17/11/2018	<b>Diámetro (cm) :</b>		15.0
<b>f'c :</b>		210 kg /cm <sup>2</sup>	<b>Altura (cm) :</b>		30.0
<b>Edad :</b>		28 Días	<b>Área (cm<sup>2</sup>) :</b>		176.7
<b>Carga (KN)</b>	<b>Carga (kg)</b>	<b>Deformación</b>	<b>Esfuerzo (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Def. Unitaria</b>	
0	0.00	0.00	0.00000	0.00000	
20	2039.40	0.023	11.54064	0.00077	
40	4078.80	0.089	23.08129	0.00297	
60	6118.20	0.137	34.62193	0.00457	
80	8157.60	0.172	46.16257	0.00573	
100	10197.00	0.214	57.70322	0.00713	
120	12236.40	0.241	69.24386	0.00803	
140	14275.80	0.263	80.78450	0.00877	
160	16315.20	0.284	92.32515	0.00947	
180	18354.60	0.308	103.86579	0.01027	
200	20394.00	0.325	115.40643	0.01083	
220	22433.40	0.344	126.94708	0.01147	
240	24472.80	0.358	138.48772	0.01193	
260	26512.20	0.371	150.02836	0.01237	
280	28551.60	0.383	161.56901	0.01277	
300	30591.00	0.395	173.10965	0.01317	
320	32630.40	0.405	184.65029	0.01350	
340	34669.80	0.428	196.19093	0.01427	
360	36709.20	0.439	207.73158	0.01463	
380	38748.60	0.453	219.27222	0.01510	
400	40788.00	0.515	230.81286	0.01717	
410	41807.70	0.528	236.58319	0.01760	



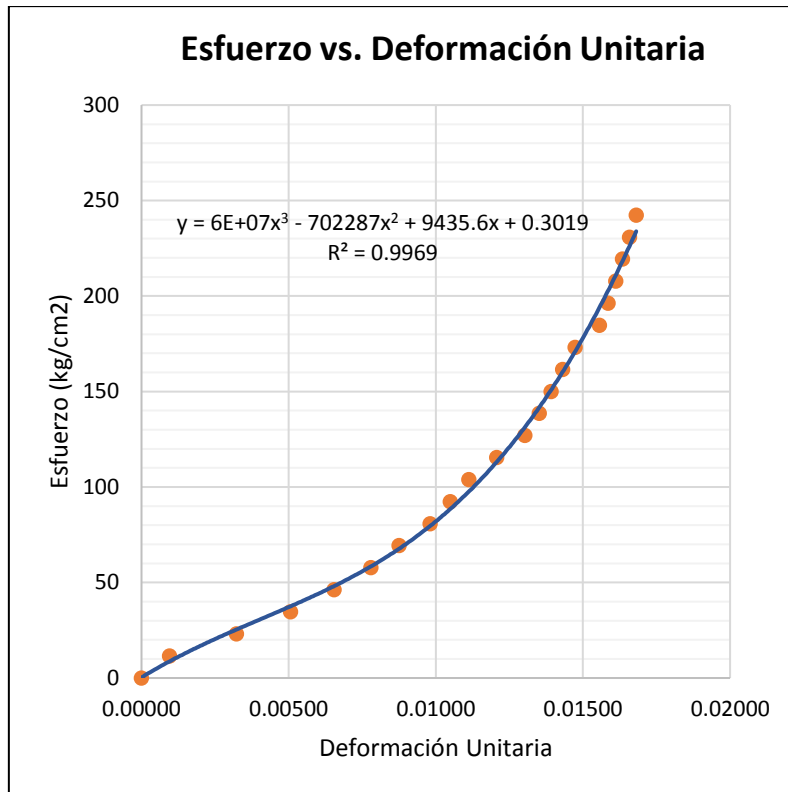
**Figura 29.** Esfuerzo vs. Deformación Unitaria del diseño ADBII-AD1.



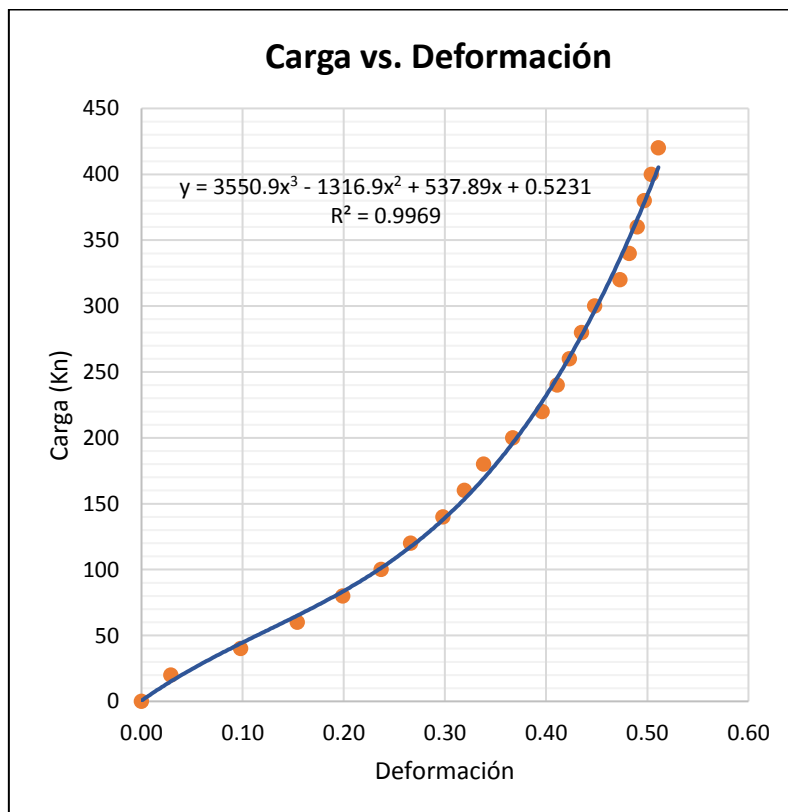
**Figura 30.** Carga vs. Deformación Unitaria del diseño ADBII-AD1.

**Tabla 75.** Deformación Unitaria del diseño II-ADBII-AD1-FPP1.

ESFUERZO A COMPRESIÓN Y DEFORMACIÓN					
Código de espécimen:			II-ADBII-AD1-FPP1		
Fecha de rotura:		17/11/2018	Diámetro (cm) :		15.0
f'c :		210 kg /cm <sup>2</sup>	Altura (cm) :		30.4
Edad :		28 Días	Área (cm <sup>2</sup> ) :		176.7
Carga (KN)	Carga (kg)	Deformación	Esfuerzo (kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unitaria	
0	0.00	0.00	0.00000	0.00000	
20	2039.40	0.029	11.54064	0.00095	
40	4078.80	0.098	23.08129	0.00322	
60	6118.20	0.154	34.62193	0.00507	
80	8157.60	0.199	46.16257	0.00655	
100	10197.00	0.237	57.70322	0.00780	
120	12236.40	0.266	69.24386	0.00875	
140	14275.80	0.298	80.78450	0.00980	
160	16315.20	0.319	92.32515	0.01049	
180	18354.60	0.338	103.86579	0.01112	
200	20394.00	0.367	115.40643	0.01207	
220	22433.40	0.396	126.94708	0.01303	
240	24472.80	0.411	138.48772	0.01352	
260	26512.20	0.423	150.02836	0.01391	
280	28551.60	0.435	161.56901	0.01431	
300	30591.00	0.448	173.10965	0.01474	
320	32630.40	0.473	184.65029	0.01556	
340	34669.80	0.482	196.19093	0.01586	
360	36709.20	0.490	207.73158	0.01612	
380	38748.60	0.497	219.27222	0.01635	
400	40788.00	0.504	230.81286	0.01658	
420	42827.40	0.511	242.35351	0.01681	
440	44866.80	0.520	253.89415	0.01711	
460	46906.20	0.532	265.43479	0.01750	



**Figura 31.** Carga vs. Deformación Unitaria del diseño ADBII-AD1-FPP1.



**Figura 32.** Carga vs. Deformación Unitaria del diseño ADBII-AD1-FPP1.

## ANEXO IX. CONSTANCIA DE USO DE LABORATORIO.



**GUERSAN INGENIEROS S.R.L.**  
SUPERVISIÓN Y EJECUCIÓN DE OBRAS DE INGENIERÍA. ELABORACIÓN DE PERFILES Y EXPEDIENTES  
TÉCNICOS. ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS  
CEL. 939291809 – 948988093 RUC: 20602101488  
CORREO : guersaningenieros@gmail.com

---

El Gerente General de la empresa GUERSAN INGENIEROS S.R.L Deja:

### CONSTANCIA:

Que el señor **DEENER OLAVI PAREDES GARRIDO**, Bachiller de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, **ha realizado sus ensayos de laboratorio de concreto** para complementar su trabajo de tesis titulada: **“EVALUACIÓN DE UNA LOSA DE CONCRETO PERMEABLE VACIADA IN SITU, PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA.”** Dichos ensayos de realizaron desde el 06 de agosto al 20 de noviembre del 2018.

Los ensayos efectuados por el señor Tesista fueron los siguientes:

- 50 elaboraciones y ensayos de resistencia a la compresión: Probetas de concreto
- 12 Probetas de concreto para ensayos de Permeabilidad.

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

Cajamarca, 26 de noviembre del 2018

  
**GUERSAN INGENIEROS S.R.L.**  
-----  
**Leiner Guerrero Gonzales**  
GERENTE GENERAL

## ANEXO X. FICHA DE ENSAYO DE SUELOS DE LA SUBBASE DE LA LOSA DE CONCRETO PERMEABLE.

<b>TESIS:</b> "EVALUACIÓN DE UNA LOSA DE CONCRETO PERMEABLE VACIADA IN SITU, PARA SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA CIUDAD DE CAJAMARCA"							
<b>TESISTA:</b> Bach. Déener Olaví Paredes Garrido							
<b>Ensayo :</b> LÍMITES DE CONSISTENCIA							
<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>		Norma : ASTM D 4318					
<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		Norma : ASTM D 4319					
Fecha de Muestreo :		Cajamarca 08/ 11 / 2018					
Muestreado por :		D.O.P.G					
Laboratorio :		Laboratorio de Mecánica de Suelos - UNC					
<b>LÍMITES DE CONSISTENCIA</b>		Ubicación :			Muestra A1		
		<b>LÍMITE LIQUIDO</b>			<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>		
<b>Tara Número</b>	<b>Unidades</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso Tara + Muestra Húmeda	Gr	42.00	42.40	40.50	33.10	32.10	32.80
Peso Tara + Muestra Seca	Gr	38.20	37.20	35.10	32.30	30.90	31.60
Peso de la Tara	Gr	29.20	26.80	27.30	29.10	26.70	27.20
Peso de la Muestra Seca	Gr	9.00	10.40	7.80	3.20	4.20	4.40
Peso del Agua	Gr	3.80	5.20	5.40	0.80	1.20	1.20
Contenido de Humedad	%	42.22	50.00	69.23	25.00	28.57	27.27
Número de Golpes		31	24	16	Promedio :		26.95
					Límites de Consistencia		
					Límite Líquido: LL = 50.06%		
					Límite Plástico: LP = 26.95%		
					Índice de Plasticidad : IP = 23.11%		
					Contenido de Humedad : W <sub>n</sub> = 27.81%		
					Grado de Consistencia : Kw = 0.96		
					Grado de Consistencia : Plástica		
					Clasificación S.U.C.S : CI1		

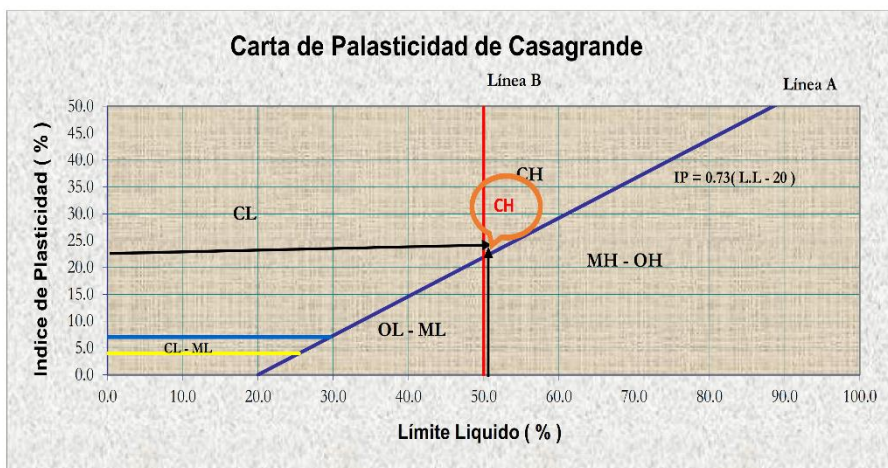
<b>Calicata :</b> A1	
<b>Estrato :</b> E1	
<b>Potencia :</b>	
<b>Número de Golpes</b>	<b>Contenido de Humedad (%)</b>
31	42.22
24	50.00
16	69.23
25	50.061

**LÍMITE LIQUIDO**

Contenido de Humedad (%)

Número de Golpes





## ANEXO XI. PANEL FOTOGRÁFICO.



*Fotografía 1. Pila del agregado grueso – cantera Margarita.*



*Fotografía 2. Ensayo de análisis granulométrico de los agregados.*





*Fotografía 3. Muestra de agregados para ensayo de contenido de humedad.*



*Fotografía 4. Cemento Tipo I*



*Fotografía 5. Chema Fibra Ultrafina*



*Figura 6. Aditivo Sikament 290N utilizado en el diseño de mezcla.*

*II-ADBII-AD1-FPP1.*



*Fotografía 7. Diseño de mezcla con aditivo polifuncional y micro fibra.*



*Fotografía 8. Especímenes de concreto permeable con aditivo y micro fibra.*



*Fotografía 9. Ensayo a la compresión de probetas a los 7 días.*



*Fotografía 10. Esfuerzo – Deformación Unitaria del concreto permeable a los 28 días.*

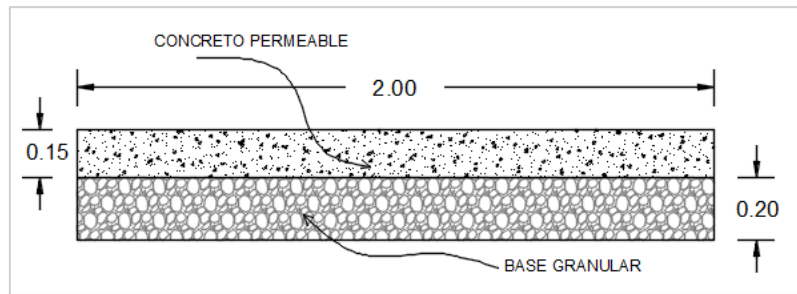




*Fotografía 11. Ensayo de permeabilidad a los 28 días.*



*Fotografía 12. Ensayo Limite Líquido y Limite Plástico laboratorio de mecánica de suelos UNC.*



*Fotografía. 13: Corte de perfil.*



*Fotografía 14. Sub base granular de la losa de concreto permeable.*



*Fotografía 15. Vaciado del concreto permeable en la losa.*





*Fotografía 16. Losa de concreto permeable.*



*Fotografía 17. Curado de Losa de concreto permeable.*



*Fotografía 18. Prueba estándar para medir la tasa de infiltración en la losa.*