



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Influencia de las fibras de acero trefilado de alta calidad  
en las propiedades del concreto permeable para  
pavimentos rígidos**

Tesis para optar el Grado de  
Máster en Ingeniería Civil con mención en Vial

**Juan Antonio Coronel Díaz**

Asesor(es):  
Mgtr. Ing. Gaby Patricia Ruiz Petrozzi

Piura, noviembre de 2023



### Declaración Jurada de Originalidad del Trabajo Final

Yo, Juan Antonio Coronel Díaz., egresado del Programa Académico/ programa de posgrado de Ingeniería Civil con mención en vial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Piura, identificado(a) con DNI 71068288

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor del trabajo final titulado:  
"Influencia de las fibras de acero trefilado de alta calidad en las propiedades del concreto permeable para pavimentos rígido"  
El mismo que presento bajo la modalidad de **Tesis**<sup>1</sup> para optar el (Título profesional/Grado Académico<sup>2</sup>) de **Grado de Maestro**.
2. Que el trabajo se realizó en coautoría con los siguientes alumnos de la Universidad de Piura.  
Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
3. La asesoría del trabajo estuvo a cargo de:
  - Mgtr. Ing. Gaby Patricia Ruiz Petrozzi, identificado con DNI N° 02810251
  - Haga clic o pulse aquí para escribir texto, identificado con DNI N° Escribir número
4. El texto de mi trabajo final respeta y no vulnera los derechos de terceros o de ser el caso derechos de los coautores, incluidos los derechos de propiedad intelectual, datos personales, entre otros. En tal sentido, el texto de mi trabajo final no ha sido plagiado total ni parcialmente, para la cual he respetado las normas internacionales de citas y referencias de las fuentes consultadas.
5. El texto del trabajo final que presento no ha sido publicado ni presentado antes en cualquier medio electrónico o físico.
6. La investigación, los resultados, datos, conclusiones y demás información presentada que atribuyo a mi autoría son veraces.
7. Declaro que mi trabajo final cumple con todas las normas de la Universidad de Piura.

El incumplimiento de lo declarado da lugar a responsabilidad del declarante, en consecuencia; a través del presente documento asumo frente a terceros, la Universidad de Piura y/o la Administración Pública toda responsabilidad que pueda derivarse por el trabajo final presentado. Lo señalado incluye responsabilidad pecuniaria incluido el pago de multas u otros por los daños y perjuicios que se ocasionen.

Fecha: 23/11/2023

Firma del autor optante<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Indicar si es tesis, trabajo de investigación, trabajo académico o trabajo de suficiencia profesional.

<sup>2</sup> Grado de Bachiller, Título de profesional, Grado de Maestro o Grado de Doctor.

<sup>3</sup> Idéntica a DNI, no se admite digital salvo certificado.

## Resumen

En el presente estudio de investigación se examinó la influencia de las fibras de acero trefilado de alta calidad en las propiedades del concreto permeable aplicado a pavimentos rígidos. Se desarrolló en dos etapas: la primera se enfocó en la selección del diseño de muestra óptimo para servir como patrón base y la segunda en la incorporación de diferentes cantidades de fibras de acero trefilado en la dosificación base, para analizar su impacto en las propiedades de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión medida en el módulo de rotura y la permeabilidad. Para ello, se fabricaron especímenes siguiendo las normas ACI 211.3R-97 y ACI 522R-10, con agregados de la Cantera "Arenera Jaén", cemento Portland Pacasmayo Ico y fibras de acero trefilado de alta calidad SIKA FIBER CHO 80/60 NB.

En la primera etapa, se llevaron a cabo seis diseños de mezcla de concreto permeable para pavimentos rígidos. Considerando las características mínimas requeridas de módulo de rotura (34 kg/cm<sup>2</sup>), resistencia a la compresión ( $f'c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>) y permeabilidad (0.2 cm/seg), se seleccionó la muestra patrón base I-Ico-AG-AF-3. Los resultados obtenidos para esta muestra patrón base fueron una resistencia a la compresión de 257 kg/cm<sup>2</sup>, un módulo de rotura de 38 kg/cm<sup>2</sup> y una permeabilidad de 0.31 cm/seg.

En la segunda etapa, utilizando la muestra patrón base, se elaboraron tres diseños de mezcla con adición de fibra de acero trefilado de alta calidad en proporciones de 25 kg/m<sup>3</sup>, 35 kg/m<sup>3</sup> y 45 kg/m<sup>3</sup>. Se observaron incrementos en resistencia a la compresión de 11.8% (287 kg/cm<sup>2</sup>), 16.8% (300 kg/cm<sup>2</sup>) y 21.7% (313 kg/cm<sup>2</sup>), respectivamente; aumentos en el módulo de rotura de 29.4% (49 kg/cm<sup>2</sup>), 34.8% (51 kg/cm<sup>2</sup>) y 36.9% (52 kg/cm<sup>2</sup>), respectivamente; y aumentos en la permeabilidad de 7.6% (0.33 cm/seg), 10.6% (0.34 cm/seg) y 13.7% (0.35 cm/seg), respectivamente.

En conclusión, se determinó que las fibras de acero trefilado de alta calidad mejoran de manera significativa las propiedades de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad en el concreto permeable, y que estos incrementos están en relación directa con la cantidad de fibra incorporada en el diseño de mezcla. Los resultados cumplen con los requerimientos mecánicos e hidráulicos estipulados en la normativa vigente para concreto permeable y pavimentos rígidos. Cabe señalar que, en este resumen, los resultados han sido redondeados a números enteros para facilitar su interpretación.

## Tabla de contenido

Introducción .....	10
Capítulo 1 Planteamiento del problema .....	11
1.1 Realidad problemática.....	11
1.2 Hipótesis de investigación .....	14
1.3 Objetivos de la investigación.....	14
1.3.1 Objetivo general .....	14
1.3.2 Objetivos específicos .....	14
1.4 Justificación del problema.....	14
1.5 Delimitación de la investigación.....	15
Capítulo 2 Marco teórico.....	16
2.1 Antecedentes.....	16
2.2 Bases teóricas de concreto permeable .....	18
2.2.1 Concreto permeable.....	18
2.2.2 Ventajas y desventajas del concreto permeable .....	18
2.2.3 Propiedades del concreto permeable .....	19
2.3 Bases teóricas de fibras de acero trefilado de alta calidad.....	28
2.3.1 Fibra de acero SIKA® FIBER CHO 80/60 NB .....	28
2.3.2 Tipos de fibras de acero trefilado de alta calidad .....	29
2.3.3 Especificaciones técnicas de fibras de acero trefilado de alta calidad .....	33
2.3.4 Características de los materiales y de la mezcla de concreto permeable .....	35
2.4 Ensayos de laboratorio aplicables a concreto permeable. ....	39
2.5 Requerimiento técnico mínimo de concreto permeable.....	41
2.6 Requerimiento técnico mínimo de pavimentos rígidos.....	42
Capítulo 3 Metodología.....	43
3.1 Diseño metodológico general .....	43
3.1.1 Ubicación geográfica de la investigación .....	43
3.1.2 Tipo, nivel, diseño y método de la investigación. ....	43
3.1.3 Objeto de estudio.....	43
3.1.4 Muestra. ....	43

3.1.5	Unidad de análisis.....	45
3.2	Definición de variables .....	45
3.2.1	Variable independiente .....	45
3.2.2	Variables dependientes.....	45
3.3	Materiales a utilizar en la investigación .....	45
3.3.1	Agregados.....	45
3.3.2	Cemento .....	51
3.3.3	Agua.....	51
3.3.4	Fibras de Acero .....	51
3.4	Diseño de mezcla de concreto permeable - I etapa.....	52
3.5	Diseño de mezcla de concreto permeable – II etapa.....	57
3.6	Especímenes para ensayos mecánicos.....	58
3.6.1	Dimensiones de especímenes .....	58
3.6.2	Equipos y aparatos para elaboración de especímenes.....	60
3.6.3	Procedimiento de elaboración de los especímenes de concreto permeable:.....	63
3.7	Ensayos mecánicos de especímenes: compresión y flexión.....	68
3.8	Ensayo de permeabilidad de especímenes: permeámetro de carga variable.....	73
3.8.1	Proceso constructivo del permeámetro de carga variable .....	74
3.8.2	Procedimiento de medición de ensayo de permeabilidad .....	80
4	Capítulo 4 Análisis y discusión de resultados.....	85
4.1	Análisis de resultados – I Etapa .....	85
4.2	Análisis de resultados – II etapa.....	89
4.2.1	Análisis de la resistencia a la compresión.....	89
4.2.2	Análisis de resistencia a la flexión - Módulo de rotura .....	93
4.2.3	Análisis de permeabilidad .....	96
	Conclusiones.....	101
	Referencias.....	103
	Apéndice	
	Apéndice A – Resumen de resultados – I etapa	

Apéndice B – Resumen de resultados – II etapa

Apéndice C – Propiedades mecánicas y permeabilidad – I etapa

Apéndice D – Resultados de selección de muestra patrón base – I etapa

Apéndice E – Resultados de ensayos a la comprensión – II etapa

Apéndice F – Resultados de ensayos a flexión a la edad de 28 días – II etapa

Apéndice G – Resultados de ensayo de permeabilidad – II etapa

Apéndice H – Resultados permeabilidad – I etapa

Apéndice I – Resultados permeabilidad – II etapa

Apéndice J – Resumen de diseños de mezclas – I etapa

Apéndice K – Resumen de diseño de mezclas – II etapa

Apéndice L – Procedimiento diseño de mezcla de concreto permeable.

Apéndice LL - Lámina de ubicación de cantera de agregados

Apéndice M – Lámina de estructura de permeámetro de carga variable

Apéndice N – Ecuación de permeabilidad -permeámetro de carga variable

Anexos

Anexo A – Resumen de análisis granulométrico de agregados

Anexo B – Resultados del ensayo porcentaje de caras fracturadas

Anexo C – Resultados del ensayo porcentaje de partículas chatas y alargadas

Anexo D – Metodología para diseño de mezcla ACI 211.3R- 02 (APENDICE 6)

Anexo E – Resultados de ensayo para el esfuerzo a la comprensión – I ETAPA.

Anexo F – Resultados de ensayo para el esfuerzo a la comprensión – II ETAPA

Anexo G – Resultados de ensayo resistencia a flexión – II Etapa

Anexo H – Certificado de Indecopi y certificado de calibración de equipos.

Anexo I - Hoja técnica de las fibras de acero trefilado de alta calidad.

## Lista de tablas

Tabla 1	Datos de la Precipitación máxima de la ciudad de Jaén en los últimos 29 años.....	11
Tabla 2	Ventajas y desventajas del concreto permeable.....	18
Tabla 3	Características mecánicas de las fibras.....	29
Tabla 4	Tipos de fibra de acero de alta calidad SIKA FIBER®.....	33
Tabla 5	Especificaciones técnicas fibras de acero trefilado de alta calidad Sika® Fiber.....	34
Tabla 6	Influencia de características de agregados en el concreto permeable.....	37
Tabla 7	Límites permisibles para la mezcla de agua y curado según la Norma NTP 339.088	38
Tabla 8	Normas técnicas para ensayos de laboratorio para agregados.....	39
Tabla 9	Normas técnicas para ensayos de laboratorio para el concreto.....	40
Tabla 10	Norma técnica para calidad de cemento.....	40
Tabla 11	Propiedades típicas del concreto permeable.....	41
Tabla 12	Requisitos mínimos para diferentes tipos de pavimentos.....	42
Tabla 13	Tipo, nivel, diseño y método de la investigación.....	43
Tabla 14	Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico.....	47
Tabla 15	Requerimientos agregado grueso para bases de concreto hidráulico poroso.....	48
Tabla 16	Resumen de las propiedades de los agregados de cantera Arenera Jaén.....	50
Tabla 17	Resumen de los datos técnicos de la fibra de acero SIKA® FIBER CHO 80/60 NB....	51
Tabla 18	Materiales para fabricación de permeámetro de carga variable.....	74
Tabla 19	Dosificaciones de concreto permeable – I etapa.....	86

## Lista de figuras

Figura 1	Curvas intensidad Duración y frecuencia (IDF) de la ciudad de Jaén.....	12
Figura 2	Esquema de realidad problemática.....	13
Figura 3	Variación de la porosidad en función del porcentaje de agregado. ....	20
Figura 4	Resistencia a la compresión versus el contenido de aire en concreto permeable..	21
Figura 5	Resistencia a la compresión versus peso específico en concreto permeable. ....	22
Figura 6	Contenido de aire versus la relación agua/material cementante (a/mc).. ....	23
Figura 7	Resistencia a la flexión en vigas versus el contenido de espacios vacíos. ....	23
Figura 8	Resistencia a la flexión verus la resistencia a la compresión .....	24
Figura 9	Resistencia a la flexión versus porcentaje de porosidad. ....	24
Figura 10	Relación entre el tamaño de los poros y el tamaño de los agregados. ....	25
Figura 11	Tamaño de poro versus porcentaje de agregado más grande.....	26
Figura 12	Percolación versus contenido de vacíos en cilíndricos .....	27
Figura 13	Características de fibras trefiladas de alta Calidad .....	28
Figura 14	Sección típica de una fibra de acero.....	30
Figura 15	Ejemplo de fibras metálicas sueltas y pegadas con anclaje en las extremidades..	30
Figura 16	Ejemplo de diferentes formas de fibras de acero.....	31
Figura 17	Ejemplo de diferentes formas de fibras metálicas.....	32
Figura 18	Esquema de muestras en investigación .....	44
Figura 19	Ubicación de cantera Arenera Jaén.....	45
Figura 20	Ensayos para caracterización de agregados de cantera Arenera Jaén .....	46
Figura 21	Agregado grueso de cantera “Arenera Jaén” .....	49
Figura 22	Agregado fino de cantera “Arenera Jaén” .....	50
Figura 23	Fibra de acero trefilado de alta calidad SIKA® FIBER CHO 80/60 NB .....	52
Figura 24	Diagrama de flujo de proceso de diseño de concreto permeable .....	55
Figura 25	Nomenclatura para identificación de muestras de concreto permeable .....	56
Figura 26	Espécimen o probeta cilíndrica de diámetro 150 mm y altura 300 mm.....	58
Figura 27	Probeta prismática de ancho 150 mm, alto 150 mm y largo de 500 mm.....	59
Figura 28	Espécimen o probeta cilíndrica de diámetro 95 mm y altura 150 mm.....	59
Figura 29	Moldes para ensayos mecánicos de concreto permeable .....	60
Figura 30	Equipos y aparatos para elaboración de especímenes de concreto permeable ...	62
Figura 31	Mezcladora de 9 pies cúbicos.....	63
Figura 32	Incorporación de fibras a la mezcla.....	64
Figura 33	Llenado del molde metálico cilíndrico, para ensayo a esfuerzo de compresión ...	65

Figura 34	Llenado del molde prismático de madera tornillo para flexión.....	65
Figura 35	Identificación de los especímenes y extracción de los moldes.....	66
Figura 36	Curado estándar del concreto Permeable – I Etapa.....	67
Figura 37	Curado estándar del concreto Permeable – II Etapa.....	67
Figura 38	Ensayo a compresión de especímenes cilíndricos – I Etapa.....	68
Figura 39	Ensayo de compresión del espécimen cilíndrico de la M3-03 – II Etapa .....	69
Figura 40	Fallas típicas de especímenes cilíndricos – II Etapa.....	69
Figura 41	Ensayo a flexión de vigas prismáticas – I Etapa.....	70
Figura 42	Ensayo de vigas prismáticas de la muestra V2-02– II Etapa.....	71
Figura 43	Falla típica en la parte central de las vigas prismáticas – II Etapa.....	71
Figura 44	Fractura de viga prismática – II Etapa .....	72
Figura 45	Permeámetro de carga variable .....	73
Figura 46	Proceso constructivo de permeámetro de carga variable .....	75
Figura 47	Tubo acrílico graduado de permeámetro de carga variable.....	76
Figura 48	Base para alojamiento de muestra de concreto permeable.....	77
Figura 49	látex como material para impermeabilizar uniones de conexiones de tubos .....	78
Figura 50	Estructura de permeámetro de carga variable (elaboración propia) .....	79
Figura 51	Silicona translúcida de 1.5mm para impermeabilizar las probetas .....	80
Figura 52	Probeta de concreto permeable forrada con silicona translúcida.....	80
Figura 53	Nivelación del equipo Permeámetro de carga variable .....	81
Figura 54	ensayo de permeabilidad con permeámetro de carga variable .....	81
Figura 55	Altura de carga superior del agua antes de abrir la válvula de compuerta .....	82
Figura 56	Ecuación de permeabilidad para el permeámetro de carga variable empleado... 83	
Figura 57	Curva de permeabilidad del permeámetro de carga variable empleado. ....	84
Figura 58	Propiedades mecánicas y de permeabilidad de concreto permeable – I etapa ....	87
Figura 59	<i>Propiedades de la mezcla patrón seleccionada</i> .....	88
Figura 60	Promedio de resistencia a la compresión 28 días – II etapa .....	90
Figura 61	Textura de especímenes para resistencia a la compresión– II etapa .....	92
Figura 62	Promedio de resultados de ensayo a flexión a la edad de 28 días – II etapa .....	94
Figura 63	Textura de especímenes para resistencia a la flexión – II etapa.....	95
Figura 64	Resultados de ensayo de la permeabilidad a la edad de 28 días – II etapa.....	97
Figura 65	Distribución espacial de vacíos en concreto permeable.....	98
Figura 66	Estructura de concreto permeable sin incorporación de fibras.....	99
Figura 67	Estructura de concreto permeable con incorporación de fibras .....	100

## Introducción

El concreto, siendo el material más ampliamente empleado en el sector de la construcción, ha demostrado ser invaluable en términos de versatilidad y durabilidad. Sin embargo, su uso extensivo ha generado preocupaciones significativas en cuanto a su impacto ambiental, lo que ha llevado a una necesidad urgente de innovación y adopción de soluciones más sostenibles en el ámbito de la construcción. La respuesta a este llamado ha sido el desarrollo de alternativas más ecológicas, y en este contexto, el concreto permeable ha emergido como una opción atractiva. Esta variante de concreto no solo ofrece beneficios desde el punto de vista ambiental, sino que también promete un efecto positivo en los costos, la longevidad y la eficiencia de los proyectos de construcción.

El concreto permeable, con su estructura característicamente porosa, se distingue de su contraparte convencional por una menor inclusión de agregados finos en su composición. Esta estructura, con vacíos interconectados, permite una infiltración eficaz del agua, lo que es particularmente útil en pavimentos, donde puede absorber el agua de lluvia y reducir el escurrimiento superficial, mitigando así problemas como inundaciones y erosión. Sin embargo, esta ventaja viene con una disminución en la resistencia a la compresión y a la flexión, lo que restringe su aplicabilidad en situaciones que requieren una alta capacidad de carga.

En esta investigación, se propone un enfoque innovador para superar estas limitaciones: la inclusión de fibras de acero trefilado de alta calidad en el concreto permeable para su uso en pavimentos rígidos. Las fibras de acero son reconocidas por su capacidad para mejorar la resistencia a la tracción y flexión en compuestos cementicios. Se busca, por tanto, evaluar las propiedades de resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad del concreto permeable reforzado con fibras de acero trefilado de alta calidad, y su cumplimiento con los requisitos técnicos para pavimentos rígidos.

La adopción de concreto permeable reforzado en pavimentos rígidos tiene el potencial de reducir significativamente el impacto ambiental de la construcción y proporcionar soluciones efectivas para el manejo del agua de lluvia en zonas urbanas. A través de la incorporación de fibras de acero trefilado de alta calidad, este estudio busca expandir la aplicabilidad del concreto permeable en el campo de la ingeniería vial, ofreciendo así una solución sostenible y de alto rendimiento que pueda contribuir al desarrollo de infraestructuras más respetuosas con el medio ambiente.

## Capítulo 1 Planteamiento del problema


### 1.1 Realidad problemática

Durante las temporadas de lluvia, una gran cantidad de agua de lluvia cae sobre las superficies pavimentadas. Lamentablemente, en lugar de aprovechar este recurso valioso, se desperdicia al redirigirla directamente hacia los sistemas de alcantarillado, donde se trata como agua residual.

La ciudad de Jaén, ubicada al norte de la región de Cajamarca, es un área caracterizada por recibir abundantes precipitaciones pluviales. En la tabla 1 y la figura 1 se presenta la intensidad de las lluvias, expresada en milímetros por hora, que destacan en comparación con otras regiones.

**Tabla 1**

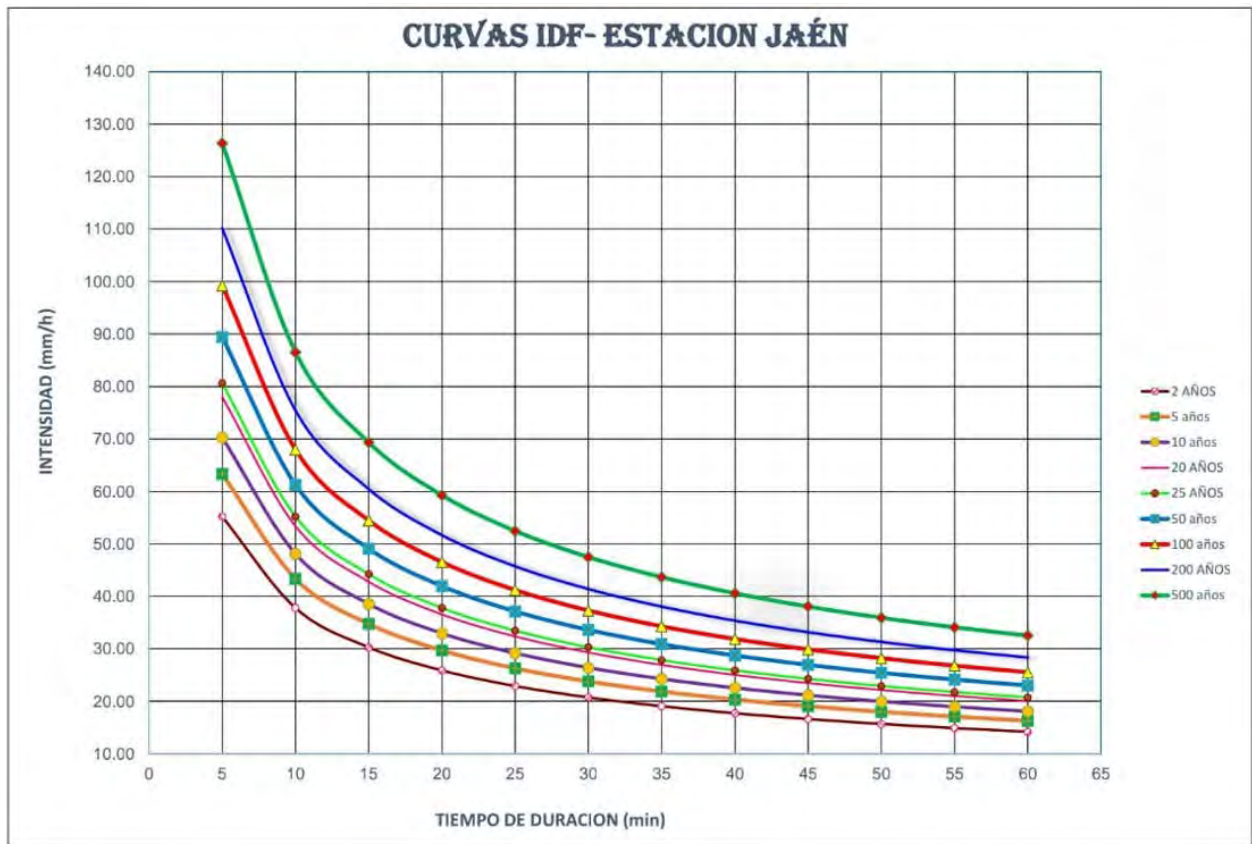
*Datos de la Precipitación máxima de la ciudad de Jaén en los últimos 29 años*

OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMATIVA														
ESTACION : JAEN / CP - 252/DRE - 02			LAT. : 5°40'39"			*S*			DPTO: CAJAMARCA					
PARAMETRO : PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (mm)			LONG. 78°46'46"			*W*			PROV: JAEN					
			ALT: 654			msnm			DIST: JAEN					
INFORMACIÓN PLUVIOMETRICA														
ANO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Pp <sub>máx</sub>	
1993	7.87	62.56	45.19	11.78	18.82	7.73	4.67	36.10	72.94	24.81	38.85	30.44	72.94	
1994	14.70	58.46	35.44	57.94	13.87	12.24	6.56	4.75	48.20	7.54	17.39	14.06	58.46	
1995	4.94	25.51	23.81	22.74	10.18	4.60	10.26	56.98	7.81	9.52	41.22	36.00	56.98	
1996	7.90	25.70	18.00	11.20	16.50	14.70	0.50	6.70	13.70	19.80	18.40	38.00	38.00	
1997	11.00	16.70	14.40	30.00	9.66	4.24	7.41	11.97	13.34	23.74	31.61	33.94	33.94	
1998	26.59	76.25	41.16	37.27	31.44	18.50	3.10	21.82	23.25	29.68	35.65	15.39	76.25	
1999	24.97	73.60	17.34	16.95	20.36	17.86	5.91	6.16	27.57	24.92	23.13	44.23	73.60	
2000	7.10	70.45	49.15	39.80	67.99	18.06	8.18	75.14	40.81	3.61	10.89	18.02	75.14	
2001	33.88	32.71	26.26	22.64	14.83	3.29	7.08	77.94	61.48	10.96	75.31	17.95	77.94	
2002	7.26	31.63	38.37	18.24	27.04	4.05	12.70	1.26	8.14	25.28	34.01	29.71	38.37	
2003	6.93	54.34	15.18	15.46	17.14	28.03	8.93	2.30	11.12	15.67	37.01	17.92	54.34	
2004	7.50	6.80	17.70	30.60	38.10	18.00	2.40	7.20	17.00	19.40	18.20	12.00	38.10	
2005	6.50	42.00	36.20	31.00	10.20	18.30	1.90	14.50	18.70	27.90	78.50	31.50	78.50	
2006	18.50	38.70	23.00	9.40	13.50	26.50	1.30	8.50	5.60	11.70	15.50	16.00	38.70	
2007	7.60	27.00	32.50	29.00	29.30	13.00	27.20	7.50	7.20	45.90	38.90	22.60	45.90	
2008	17.00	37.20	63.70	10.20	15.80	26.90	17.40	3.40	9.93	24.57	77.48	9.96	77.48	
2009	21.47	54.12	29.48	13.67	22.19	8.30	8.30	14.64	14.52	20.23	59.48	23.59	59.48	
2010	16.60	32.80	5.50	41.50	12.50	13.30	4.00	22.90	10.70	24.00	12.10	30.00	41.50	
2011	25.50	39.50	48.90	39.80	70.60	4.50	21.80	5.80	2.50	30.80	23.50	38.70	70.60	
2012	23.80	32.60	22.50	27.50	7.80	17.00	6.40	6.80	5.20	26.00	23.20	12.20	32.60	
2013	9.40	47.00	10.30	18.80	12.90	9.00	6.40	7.40	14.00	56.90	0.70	18.60	56.90	
2014	14.60	20.00	38.60	50.30	47.80	8.00	10.00	11.90	6.50	9.70	30.80	20.50	50.30	
2015	49.50	16.60	73.00	15.60	21.60	4.00	51.00	7.00	6.00	13.60	15.00	20.60	73.00	
2016	25.60	23.40	2.20	28.60	12.50	9.20	15.40	13.20	11.60	17.40	23.00	27.40	28.60	
2017	19.20	11.20	37.80	26.80	22.50	12.80	9.40	21.70	3.40	17.40	15.00	39.60	39.60	
2018	15.70	63.80	10.00	27.80	23.60	6.80	16.30	7.40	11.40	21.20	54.40	15.60	63.80	
2019	10.20	44.00	22.40	17.40	19.40	6.00	41.20	3.50	10.60	8.40	7.00	25.30	44.00	
2020	25.50	19.40	18.00	12.00	15.20	6.00	12.40	5.60	5.60	2.50	44.80	52.40	52.40	
2021	16.80	9.70	60.60	15.60	27.20	19.00	17.10	10.20	24.00	26.00	30.50	19.00	60.60	
2222	20.60	25.40	47.40	11.00	32.60	18.20	9.00	5.30	37.20	25.20	S/D	S/D	47.40	
<b>SUMA</b>	<b>504.71</b>	<b>1119.13</b>	<b>924.08</b>	<b>740.59</b>	<b>703.12</b>	<b>378.10</b>	<b>354.20</b>	<b>485.56</b>	<b>550.01</b>	<b>624.33</b>	<b>931.53</b>	<b>731.21</b>		
<b>PROM.</b>	<b>16.82</b>	<b>37.30</b>	<b>30.80</b>	<b>24.69</b>	<b>23.44</b>	<b>12.60</b>	<b>11.81</b>	<b>16.19</b>	<b>18.33</b>	<b>20.81</b>	<b>32.12</b>	<b>25.21</b>		
	49.50	76.25	73.00	57.94	70.60	28.03	51.00	77.94	72.94	56.90	78.50	52.40		

Nota. Portal web Senamhi.

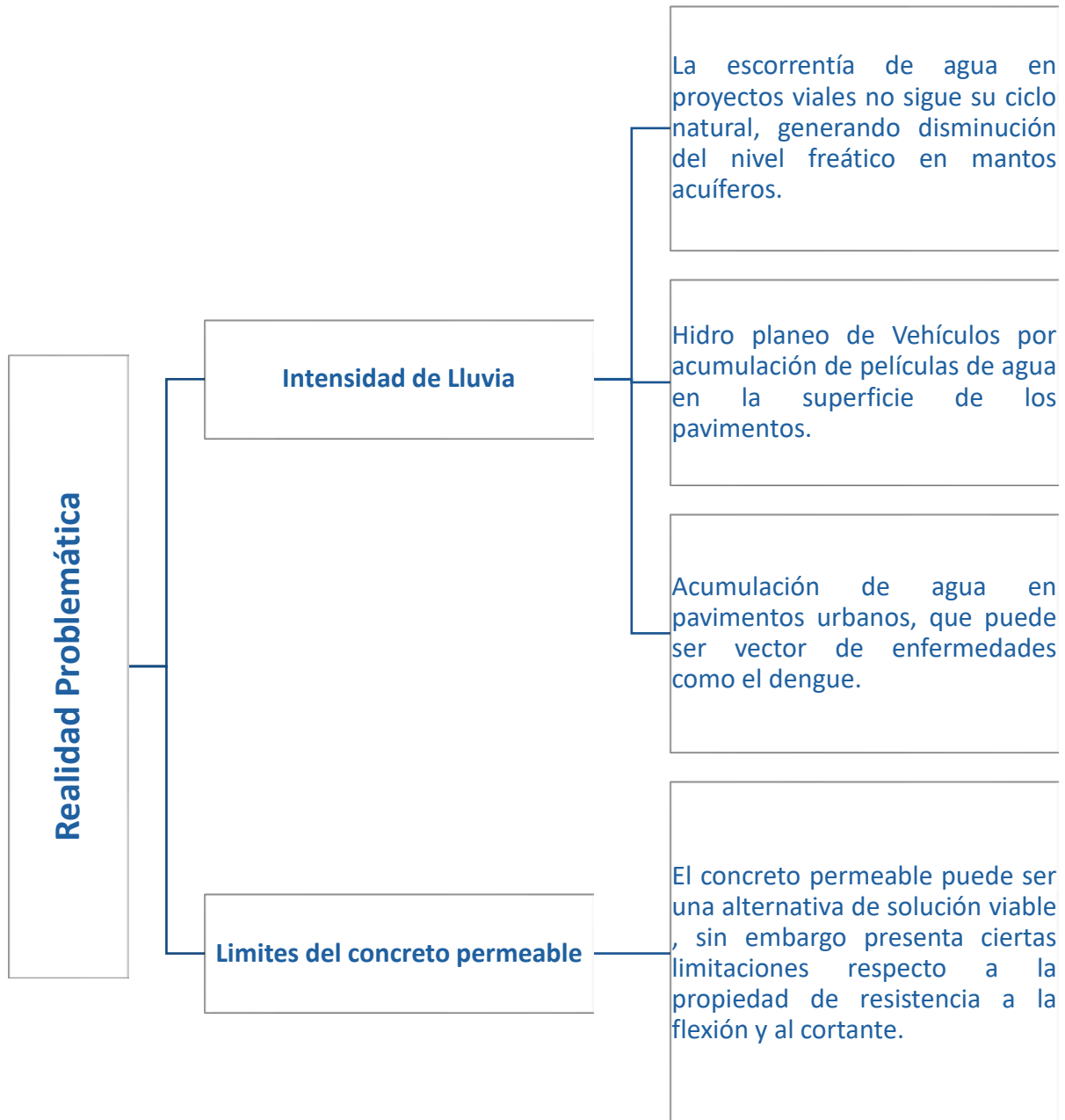
**Figura 1**

*Curvas intensidad Duración y frecuencia (IDF) de la ciudad de Jaén.*



*Nota.* Portal web Senamhi.

En este contexto, se ha examinado los efectos ocasionados por estas intensas lluvias en los pavimentos urbanos rígidos. Estos fenómenos se presentan en la figura 2 y están relacionados principalmente con el estancamiento del flujo de agua pluvial y la interrupción del ciclo natural de las escorrentías superficiales, lo que provoca una disminución de los recursos acuíferos naturales y un impacto ambiental negativo. Ante esta situación, surge la opción de utilizar concreto permeable, también conocido como ecológico. sin embargo, siendo su aplicación limitada y la escasa investigación la ciudad de Jaén, se ha optado por profundizar en el estudio de concreto permeable con fibras de acero trefilado de alta calidad, centrándose en su aplicación en pavimentos rígidos.

**Figura 2***Esquema de realidad problemática*

## **1.2 Hipótesis de investigación**

La incorporación de fibras de acero trefilado de alta calidad a un concreto permeable incrementará su resistencia a la flexión expresado mediante su módulo de rotura, y su permeabilidad.

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar la influencia de las fibras de acero trefilado de alta calidad en las propiedades del concreto permeable considerando su aplicabilidad en pavimentos rígidos.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

Evaluar las propiedades de la resistencia a flexión, resistencia a la compresión y permeabilidad de diseños de mezclas con incorporación de fibras de acero trefilado de alta calidad, respecto a un diseño patrón base de concreto permeable sin fibras de acero.

## **1.4 Justificación del problema**

Las superficies de pavimento reciben grandes volúmenes de agua a lo largo del año. Dichos volúmenes de agua terminan estancándose o desperdiciándose al ser dirigidos directamente a los alcantarillados, tratándolos como aguas residuales sin ser aprovechados. En numerosas situaciones, se produce la acumulación de agua de lluvia sobre el pavimento, la cual se infiltra en su estructura y ocasiona su deterioro. Aunque se implementan sistemas de drenaje como badenes, cunetas y alcantarillas para mitigar este problema, estos sistemas conllevan costos adicionales para la infraestructura vial.

En relación con lo antes expuesto, si una obra complementaria de drenaje no evacua eficientemente el caudal de drenaje, podría originarse estancamiento del caudal pluvial, lo cual a su vez origina el deterioro de la infraestructura vial, un elevado costo de mantenimiento, la interrupción del flujo vehicular, que a la vez conlleva a pérdidas económicas. Además, durante su operación, la presencia de agua en la superficie puede desencadenar en accidentes por la inestabilidad del vehículo al perder adherencia con la superficie del pavimento. Por otro lado, el estancamiento de volúmenes de agua, puede ser un vector de enfermedades como el dengue u otras, que se acentúan en zonas donde la población es vulnerable.

Una alternativa a esta situación es el concreto permeable. Éste permite el paso del agua a través de él, abriendo la posibilidad de recolectar dicha agua y disponerla para otros usos, reduciendo así el daño que pueda ocasionar a los pavimentos. Los escenarios en los cuales se podría aplicar este modelo de recuperación del recurso hídrico son: carreteras de bajo y alto volumen de tránsito, calles, ciclovías, estacionamientos, parqueos, locaciones de centros comerciales, etc.

Sin embargo, debido a la elevada porosidad que tienen este tipo de concreto, presentan también una baja resistencia mecánica que no alcanza los niveles requeridos para vías de tránsito elevado (Gutierrez, Albiter, & Jaimes, 2017). Al mismo tiempo y dado que la principal sollicitación del pavimento permeable es la resistencia al cortante y a la flexión, el uso de fibras uniformemente distribuidas en la mezcla de cemento que envuelve a los agregados permite incrementar considerablemente la resistencia. Estas fibras dispersas en el concreto reemplazan al refuerzo con acero convencional permitiendo resistencias a la compresión de hasta 45 MPa que permitirían su implementación en zonas de tránsito medio a alto (Guzmán, 2016).

En el Perú, el uso de concreto permeable es limitado. No se ha identificado ningún caso de aplicación real. La posibilidad de fabricar un concreto permeable con materiales locales abriría la posibilidad de evaluar su desempeño, lo que también podría dar respuesta a las interrogantes planteadas como preguntas de investigación en la presente tesis:

¿Pueden las fibras mejorar el desempeño del concreto permeable?

¿Qué fibras se han usado hasta ahora?

¿Se ha usado las fibras trefiladas en el concreto en general?

¿Cómo influye el uso de fibras de acero trefilado de alta calidad en la resistencia a la compresión, a la flexión y en la permeabilidad de un concreto permeable?

La presente investigación tiene por finalidad evaluar la influencia de las fibras de acero trefilado de alta calidad en las propiedades de resistencia a la compresión, flexión y la permeabilidad de un concreto permeable fabricado usando materiales locales con el propósito de llegar a ser parte de un pavimento rígido. La evaluación se hará experimentalmente, por comparación de las propiedades evaluadas contra el concreto permeable sin refuerzo de fibras.

### **1.5 Delimitación de la investigación**

El área de estudio se circunscribe a la ciudad de Jaén, perteneciente a la Región Cajamarca, razón por la cual los agregados a utilizarse serán provenientes de la cantera “Arena Jaén” ubicada en el sector Shanango a orillas del Río Amojú; así mismo se utilizará Cemento Portland Tipo I extra-Forte Pacasmayo, fibras de acero trefilado de alta calidad SIKA FIBER CHO 80/60 NB, y agua potable.

Las propiedades por analizar en el presente estudio son resistencia a la compresión, resistencia a la flexión expresada a través del módulo de rotura y permeabilidad, para lo cual se realizarán los ensayos establecidos en la normatividad vigente y en laboratorios certificados de la ciudad de Jaén.

## Capítulo 2 Marco teórico

### 2.1 Antecedentes

Numerosas investigaciones se han centrado en el ámbito del concreto permeable, variando según el área de estudio específica. Un ejemplo destacado es el reporte ACI 522 R-10 de 2010, que explora las diversas características del concreto permeable y su correlación con el porcentaje de espacios vacíos. Asimismo, el American Concrete Institute (ACI) cuenta con un comité dedicado (Comité 522) que se especializa en estudiar aspectos relacionados con este tipo de concreto, al igual que la American Society for Testing and Materials (ASTM).

Es importante señalar que el interés en el concreto permeable no se limita únicamente a sus características de porosidad, sino que también se extiende a su capacidad de absorción acústica, un área de estudio particularmente activa en Europa. No obstante, su uso más habitual se encuentra en aplicaciones de bajo requerimiento de carga, como parques, estacionamientos y vías con poco tráfico vehicular.

En su estudio de 2013 titulado "Resistencia, fractura y fatiga del hormigón permeable" ("Strength, fracture and fatigue of pervious concrete"), Yu Chen comparó diferentes variantes de concreto permeable, incluyendo el hormigón permeable modificado con materiales cementantes suplementarios y polímeros. Los hallazgos mostraron un aumento significativo en la resistencia a la compresión, alcanzando valores entre 32 y 46 Mpa a los 28 días, variando esta resistencia en función de la porosidad.

Por otro lado, Vigil (2012) en El Salvador, desarrolló un diseño para pavimentos rígidos empleando concreto permeable. Este estudio concluyó que la cantidad de espacios vacíos en el concreto permeable, para una mezcla constante, depende de factores como el esfuerzo de compactación, la forma y textura de las partículas agregadas, y el coeficiente de uniformidad del agregado.

Trujillo y Quiroz (2013) investigaron los pavimentos permeables como alternativa para sistemas de drenaje urbano, estableciendo que su eficacia está directamente relacionada con el mantenimiento adecuado para evitar la sedimentación.

En 2013, Barahona, Martínez y Zelaya examinaron las propiedades del concreto permeable utilizando agregados gruesos de tres canteras locales, demostrando que este material es apto para superficies de baja carga. El estudio reveló que el concreto con agregados de 3/8" de estas canteras ofrece la permeabilidad y capacidad de absorción necesarias para manejar intensidades de lluvia superiores a las registradas hasta la fecha.

Hernández y Martínez (2014) llevaron a cabo en Cartagena un proyecto piloto para evaluar pavimentos permeables, considerando variables como la granulometría del suelo, resistencia al corte, permeabilidad del suelo, carga de tráfico, condiciones climáticas locales y

las propiedades de los materiales utilizados. Los resultados mostraron que el espesor de las losas varía levemente con cambios en la permeabilidad del concreto, siempre y cuando se mantenga el mismo tipo de suelo.

Felipe y Castañeda (2014) evaluaron un concreto poroso en pavimentos, observando que existe una relación inversamente proporcional entre la porosidad y la resistencia del concreto. Descubrieron que los agregados gruesos de ½" mejoran la trabajabilidad de la mezcla en comparación con tamaños menores, sugiriendo el uso de agregados gruesos de tamaño máximo inferior para estos concretos.

Azañedo y colaboradores (2007) analizaron una mezcla de concreto permeable con aditivos polifuncionales y fibras de polipropileno, logrando resistencias a la compresión y a la flexión que cumplen con los requisitos para su uso en pavimentos desde el punto de vista estructural e hidráulico. La inclusión de aditivos polifuncionales resultó clave para mejorar la trabajabilidad del material.

En 2016, Pérez desarrolló una metodología para el diseño de Concreto Permeable. Este proceso se basó en las normativas ACI 211.3R – 97 y ACI 522R-10, empleando agregados provenientes de la cantera "La Victoria" en Cajamarca. Estos agregados poseían una granulometría ideal para el propósito del diseño. Además, se utilizó cemento Portland Antisalitre con Fortimax 3 de Pacasmayo y fibra de acero SIKA® FIBER CHO 65/35 NB de 35mm, junto con el aditivo microsílíce SIKA® FUME. Los experimentos arrojaron que la mezcla inicial I-D-FA alcanzaba a los 28 días una resistencia a compresión de 21.95 MPa y una resistencia a flexión de 4.97 MPa, con una permeabilidad de 22.44 mm/s, cumpliendo con los estándares requeridos para pavimentos en términos estructurales e hidráulicos. No obstante, para mejorar aún más estas características, se integró microsílíce, resultando en la mezcla final II-D-AM-FA. Esta última mostró una resistencia a compresión de 26.21 MPa y a flexión de 5.44 MPa, con una permeabilidad de 21.38 mm/s a los 28 días. Por lo tanto, se concluyó que el diseño final de la mezcla de concreto Permeable satisface las necesidades mecánicas, de permeabilidad y densidad establecidas por las normativas ACI 211.3R – 97 y ACI 522R-10 para pavimentos rígidos en carreteras de alto tráfico.

La investigación actual propone el uso de fibras de acero trefilado de alta calidad de 60 mm de longitud y 0.75 mm de diámetro para fortalecer la resistencia a la flexión del concreto. Estas fibras desempeñan un papel crucial en dos áreas clave: controlan la expansión de fisuras en el concreto, minimizando su apertura, y alteran el comportamiento mecánico del material de frágil a dúctil. En el concreto permeable, que tiene una menor cantidad de pasta, la inclusión de estas fibras puede compensar la reducida capacidad de resistencia a la tracción.

El acero trefilado de alta calidad usado en estas fibras es de material completamente virgen. Su forma específica de monofilamentos ayuda a reducir la formación de grietas en el concreto, actuando como un refuerzo tridimensional que dispersa los esfuerzos internos,

disminuyendo las fisuras por contracción plástica en estado fresco y por cambios de temperatura una vez endurecido. Además, estas fibras limitan la segregación de los componentes y la filtración de agua.

La incorporación de fibras de acero trefilado de alta calidad en el concreto ofrece múltiples beneficios. Entre ellos se destacan su alta capacidad de absorción de energía y resistencia a la tracción, mejorando la resistencia del material a la fatiga, al corte, al impacto, así como a la flexión y compresión. Su diseño único, con fibras unidas y dobladas, favorece una mejor adherencia y distribución dentro del concreto. Estas fibras son especialmente recomendadas para reforzar concretos en pisos, pavimentos, plataformas de puentes y concretos proyectados para estabilización.

## **2.2 Bases teóricas de concreto permeable**

### **2.2.1 Concreto permeable**

El concreto permeable tiene como característica principal su alto porcentaje de porosidad en su estructura, la cual permite la infiltración del agua a través de su superficie (cemento, agregado grueso, aditivos, agua) y proporcionarle a ésta un almacenamiento temporal, para la posterior disposición o infiltración en el terreno. (Carlos Aire, 2011)

Comúnmente, el "Concreto Permeable" se refiere a una mezcla con nula segregación, una granulometría específica, compuesta de cemento Portland, agregado grueso, mínima o nula cantidad de agregado fino, aditivos y agua. Esta combinación da lugar a una estructura endurecida con poros interconectados, cuyos tamaños oscilan entre 0.08 y 0.32 pulgadas (aproximadamente de 2 a 8 mm), permitiendo así el paso fácil del agua. El porcentaje de espacios vacíos en esta mezcla puede variar entre un 15% y un 35%, con resistencias típicas a la compresión que van de 400 a 4,000 psi (de 2.8 a 28 MPa). Según el Instituto Americano del Concreto, la capacidad de drenaje de un pavimento hecho con concreto permeable dependerá del tamaño y densidad de la mezcla de agregados, pero generalmente varía entre 2 y 18 galones por minuto por pie cuadrado (equivalente a 81 hasta 730 litros por minuto por metro cuadrado).

### **2.2.2 Ventajas y desventajas del concreto permeable**

La tabla 2 proporciona una representación visual de los beneficios y desafíos del concreto permeable.

**Tabla 2**

*Ventajas y desventajas del concreto permeable*

Beneficios del concreto permeable	Limitaciones del concreto permeable
El pavimento realizado con concreto permeable asegura una permeabilidad total en su superficie..	Una limitante significativa es su alto costo de construcción e instalación.

Beneficios del concreto permeable	Limitaciones del concreto permeable
Contribuye a la reducción significativa de la temperatura superficial.	Requiere un mantenimiento específico, que incluye la limpieza por hidrolavado o la aspiración de sedimentos.
Disminuye de manera notable el ruido generado por el tráfico vehicular.	En temporadas de clima frío, se ha observado que los poros pueden obstruirse y facilitar la acumulación de cloruros procedentes de aguas subterráneas.
Aporta de manera considerable a la reducción, e incluso a la eliminación, de la necesidad de sistemas de drenaje urbano para el manejo de aguas de lluvia.	
Aumenta la seguridad en las carreteras al minimizar el riesgo de hidroplaneo.	
Su diseño garantiza una superficie nivelada, obviando la necesidad de pendientes o sistemas de desagüe.	
En el ámbito arquitectónico, permite la integración de pigmentos en la mezcla, enriqueciendo la estética y la integración del concreto en el paisaje urbano.	
Representa una disminución considerable en los costos relacionados con la construcción y mantenimiento de infraestructuras de drenaje urbano, lo que se traduce en ahorros económicos en proyectos urbanísticos.	

### **2.2.3 Propiedades del concreto permeable**

Las características del concreto permeable están intrínsecamente ligadas al contenido de cemento, la proporción entre agua y cemento (a/c), el grado de compactación, la calidad y distribución de tamaño del agregado. Además, las dimensiones de los poros presentes en el material ejercen una influencia significativa en las propiedades relacionadas con la resistencia.

#### **2.2.3.1 Propiedades del concreto permeable en estado fresco.**

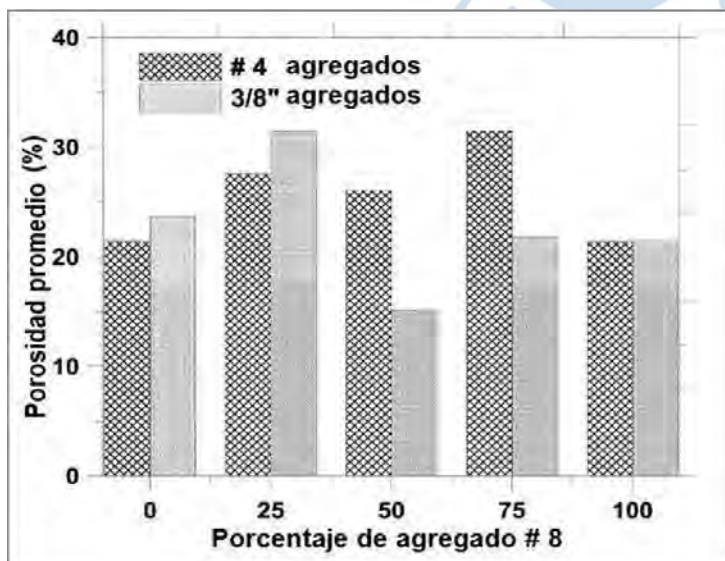
**2.2.3.1.1 Asentamiento 0-2 mm.** Este tipo de concreto se distingue por su reducido asentamiento, atribuible a una baja proporción agua-cemento y al uso limitado o nulo de agregado fino. Se le reconoce por su escasa fluidez (Barahona Aguiluz et al., 2013.)

**2.2.3.1.2 Vacíos y peso específico.** El peso específico del concreto varía en función de la densidad y cantidad de agregados, la proporción de aire atrapado, así como los niveles de agua y cemento. Estos factores son influenciados por el tamaño máximo del agregado. El concreto permeable, con un porcentaje de espacios vacíos entre 15% y 35% según la Norma ACI 522 y otros documentos, tiene una densidad menor que el concreto tradicional, oscilando entre 1680 kg/m<sup>3</sup> y 1920 kg/m<sup>3</sup>. Esta característica lo hace adecuado para pavimentos de tráfico vehicular ligero. La densidad de este tipo de concreto fresco se determina según la norma ASTM C1688/C1688M, la cual difiere de la ASTM C 138 al utilizar el Martillo de Proctor Estándar (5 libras) y realizar el ensayo en dos capas con 20 golpes cada una, en lugar de tres capas con 25 golpes. El peso específico se calcula dividiendo el peso neto del concreto (peso del cilindro lleno menos el del cilindro vacío) por el volumen del cilindro (Rodas Ralda, 2012). El porcentaje de vacíos se ve afectado por la granulometría del agregado, la cantidad de material cementante, la relación a/mc y el nivel de compactación.

En la Figura 3 se puede observar la relación entre la graduación del agregado y la porosidad de las muestras de concreto permeable preparadas en el laboratorio. Si la proporción es demasiado alta, generalmente 2.5 o más, las partículas más pequeñas ocupan los espacios vacíos dejados por las más grandes, lo que resulta en una disminución de la porosidad y, por ende, de la permeabilidad. Aunque las mezclas con relaciones de tamaño más grandes ofrecen mejoras en las propiedades mecánicas, no se recomiendan generalmente, ya que el concreto permeable está diseñado principalmente para su permeabilidad al agua

**Figura 3**

*Variación de la porosidad en función del porcentaje de agregado.*



*Nota.* Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

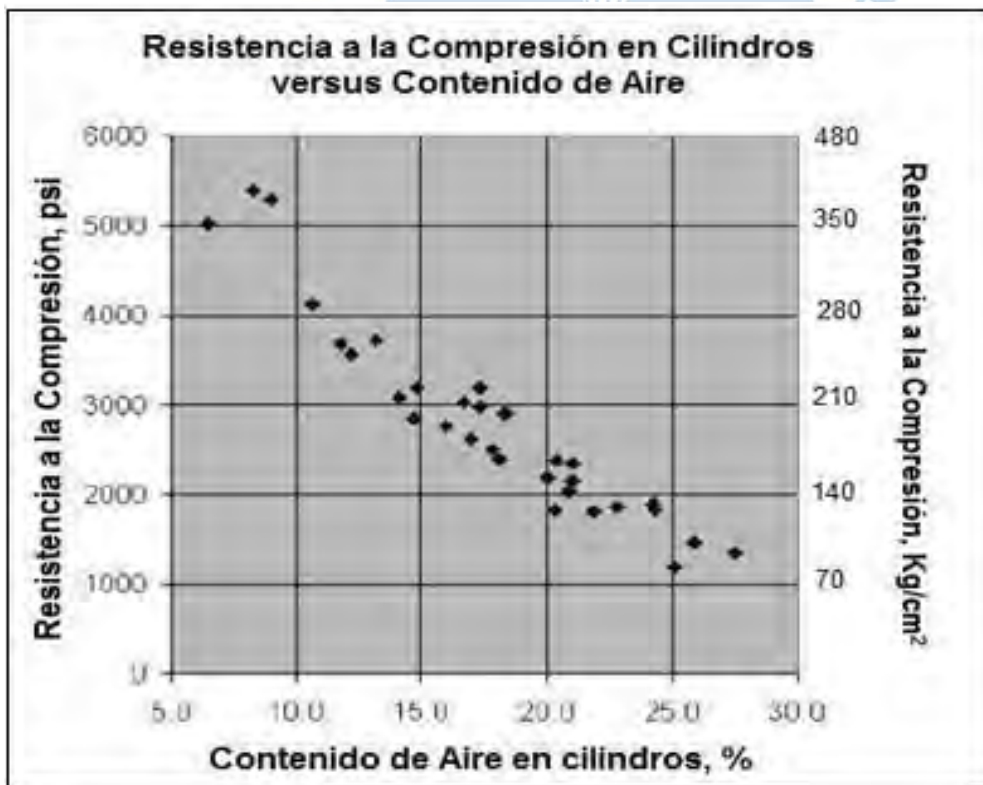
**2.2.3.1.3 Elaboración de cilindros.** Actualmente, no existe una normativa establecida para la creación de especímenes o el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de manera precisa. No obstante, el subcomité ASTM 09.49 sobre Concreto Permeable ha desarrollado varios ensayos, identificando que el método más efectivo consiste en llenar cilindros de 6 x 12 pulgadas en tres capas, cada una compactada con 20 golpes del Martillo de Proctor Estándar (5 libras).

**2.2.3.2 Propiedades del concreto permeable en estado endurecido.**

**2.2.3.2.1 Resistencia a compresión.** Según un estudio de Meininger (1988), representado en la Figura 4, existe una correlación entre la resistencia a la compresión de cilindros de concreto permeable y su contenido de aire. Este hallazgo proviene de pruebas de laboratorio utilizando dos diferentes tamaños de agregados gruesos en las mezclas de concreto permeable, con variaciones en la fuerza de compactación. La gráfica sugiere que es posible alcanzar resistencias más altas en el concreto permeable (en comparación con las del concreto tradicional), aunque esto implica una disminución en la porosidad, afectando su capacidad de percolación.

**Figura 4**

*Resistencia a la compresión versus el contenido de aire en concreto permeable.*



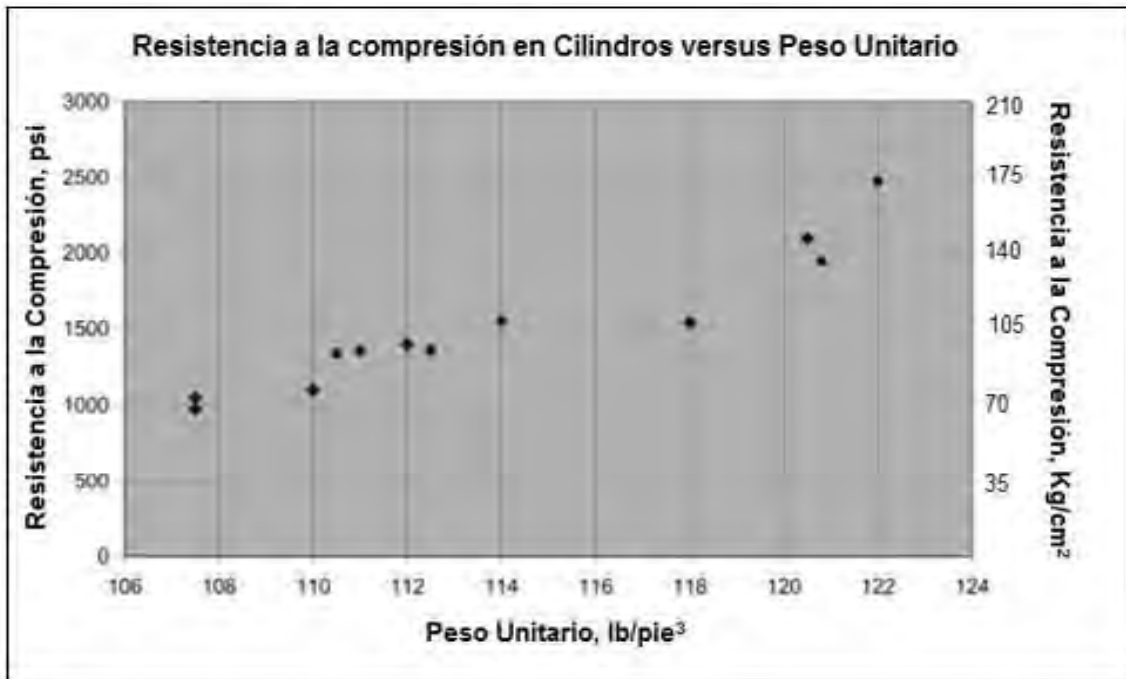
Nota. Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

En la Figura 5, basada en investigaciones de Mulligan (2005), se expone cómo la resistencia a la compresión del concreto permeable se ve afectada por su peso unitario. Estos

resultados se derivan de experimentos de laboratorio usando un solo tamaño de agregado grueso, variando tanto la compactación como la proporción agua-cemento. Aunque la proporción agua-cemento es crucial para la resistencia a la compresión y la estructura porosa del concreto, una proporción demasiado alta puede provocar que la mezcla se disperse entre los agregados, llenando los poros, mientras que una proporción baja podría resultar en una mala adhesión entre los agregados y dificultades en la aplicación del concreto.

**Figura 5**

*Resistencia a la compresión versus peso específico en concreto permeable.*

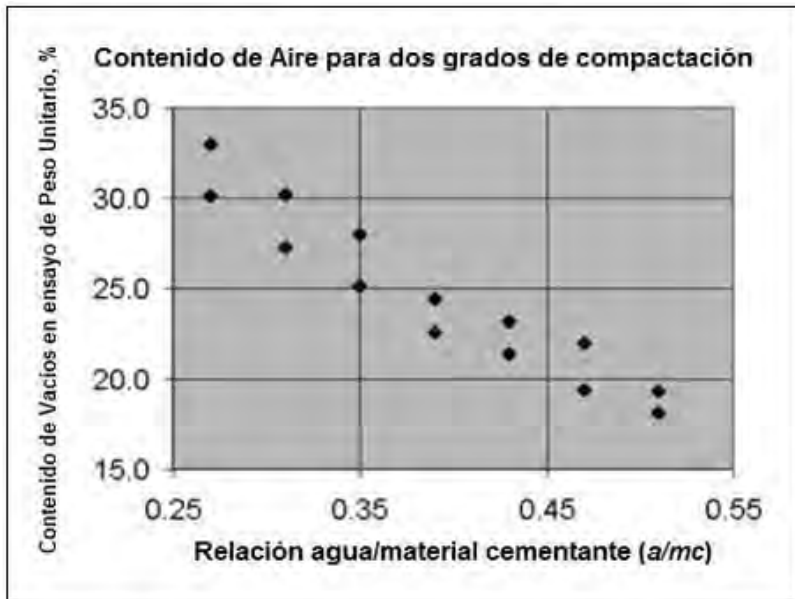


*Nota.* Informe sobre concreto permeable, Comité ACI 522R-10

La Figura 6, de Meininger (1988), muestra cómo la relación agua-cemento afecta el contenido de poros en mezclas de concreto permeable con diferentes grados de compactación. Se ha observado que una proporción de 0.26 a 0.45 es ideal para cubrir adecuadamente los agregados y mantener la estabilidad de la mezcla. Onstenk (1993) destaca que el uso de agregado fino y su tamaño relativo al agregado grueso influye en la porosidad y resistencia a la compresión del concreto. La cantidad total de material cementante es también un factor clave para la resistencia a la compresión y la porosidad del concreto permeable. El contenido óptimo de cemento depende de la granulometría y tamaño del agregado, lo cual se determina mediante ensayos de fluidez del cemento (Nelson y Phillips, 1994).

Figura 6

Contenido de aire versus la relación agua/material cementante ( $a/mc$ ).

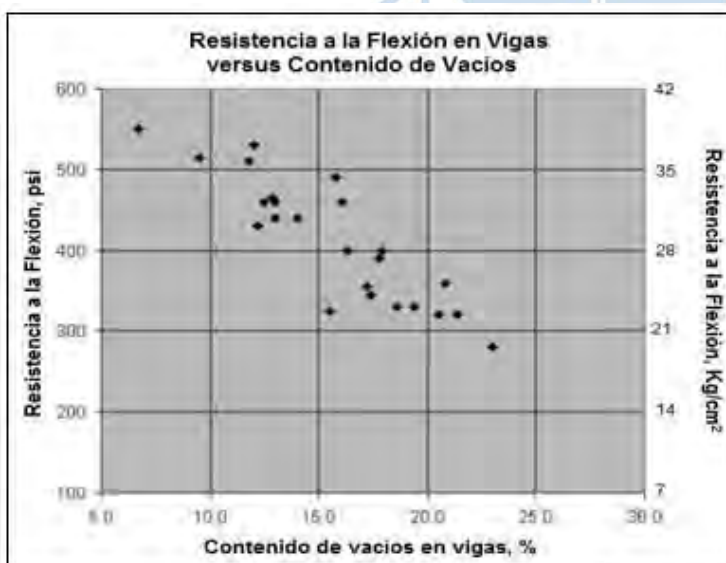


Nota. Informe sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

**2.2.3.2 Resistencia a la flexión.** La Figura 7, basada en estudios de Meininger (1988), ilustra la relación entre la resistencia a la flexión de vigas de concreto permeable y su contenido de poros, derivado de la misma serie de ensayos de laboratorio. Se observa que la relación entre resistencia a la flexión y porosidad depende de múltiples factores.

Figura 7

Resistencia a la flexión en vigas versus el contenido de espacios vacíos.

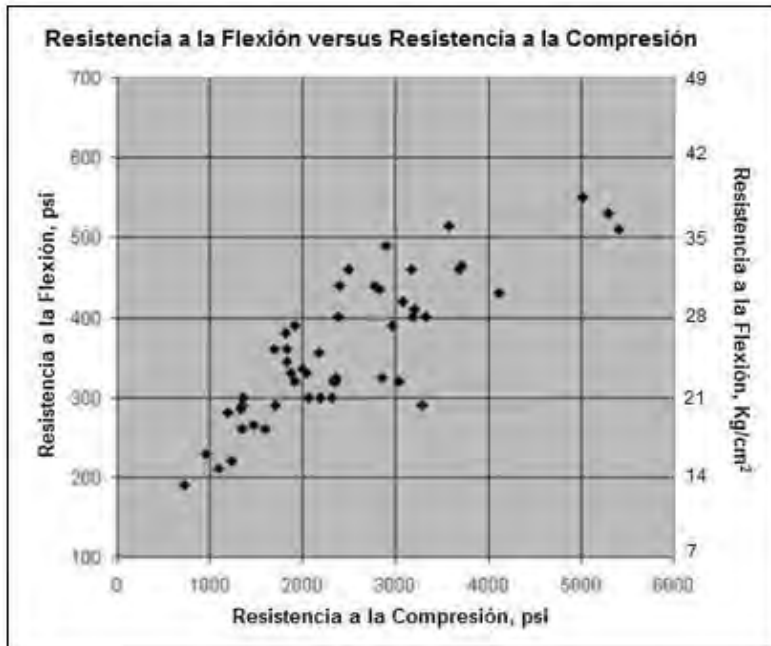


Nota. Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

La Figura 8, también de Meininger (1988), presenta cómo la resistencia a la compresión se relaciona con la resistencia a la flexión en el concreto permeable, basada en una serie de pruebas de laboratorio. Adicionalmente, la Figura 9, de Neithalath (2004), muestra otros datos experimentales que relacionan la resistencia a la flexión con la porosidad.

**Figura 8**

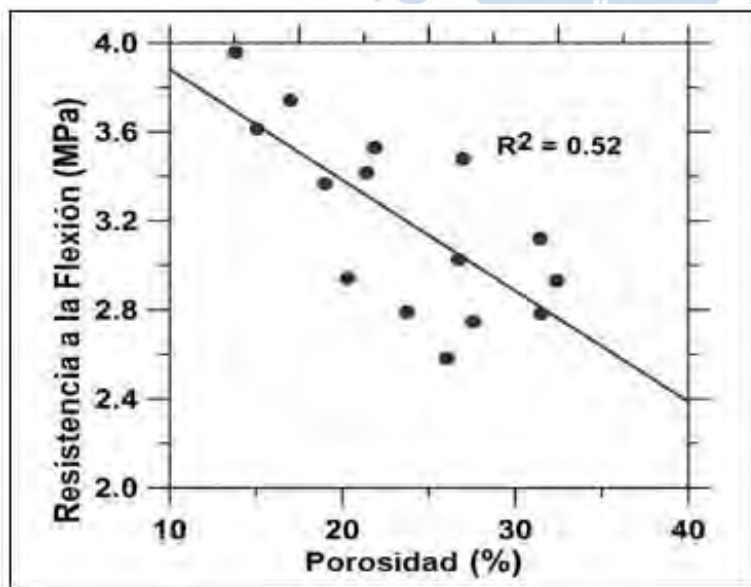
*Resistencia a la flexión versus la resistencia a la compresión*



*Nota.* Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

**Figura 9**

*Resistencia a la flexión versus porcentaje de porosidad.*



*Nota.* Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

Según Neithalath (2004), la adición de una pequeña cantidad de arena (alrededor del 5% en volumen) mejora la resistencia a la flexión del concreto permeable. Crouch investigó cómo la resistencia a la flexión se relaciona con la resistencia a la compresión en pavimentos permeables, concluyendo que esta relación es más cercana a la fórmula propuesta por Ahmad y Shah (1985) para elementos prefabricados de concreto. Las fórmulas resultantes son:

$$f_r = 0.083 f'_c \text{ (Sistema Inglés)}$$

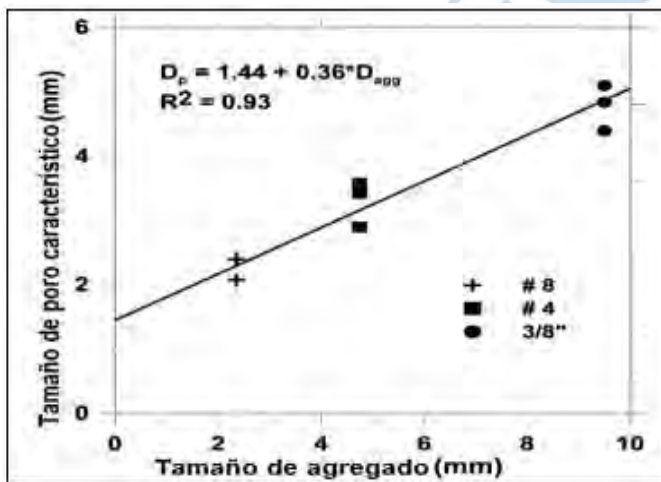
$$f_r = 2.3 f'_c \text{ (Sistema Internacional)}$$

**2.2.3.2.3 Porosidad.** La dimensión de los poros dentro del concreto permeable juega un papel crucial en sus características funcionales. Se ha observado que el uso de agregados más grandes favorece la formación de poros más amplios, lo que disminuye la probabilidad de su obstrucción, según lo indicado por Nelson y Phillips (1994). En las figuras 10 y 11 se ilustra cómo la elección de un tamaño de agregado uniforme o la combinación de dos tamaños distintos en proporciones variables puede impactar en la porosidad del concreto permeable. La sustitución de agregados de menor tamaño por una mayor proporción de agregado grueso de mayor tamaño resulta en un incremento en el tamaño de los poros.

La estructura porosa del concreto permeable es vital para determinar sus propiedades y eficiencia. Low (2008) explica un enfoque estadístico para identificar los elementos que afectan la estructura porosa, incluyendo la porosidad, el factor de conectividad de los poros y la permeabilidad del concreto permeable. Se empleó un diseño experimental factorial con cuatro variables (tamaño de los agregados, relación agregado/cemento, relación a/mc, y relación arena/agregado grueso), generando 16 variantes de mezclas de concreto permeable.

**Figura 10**

*Relación entre el tamaño de los poros y el tamaño de los agregados.*

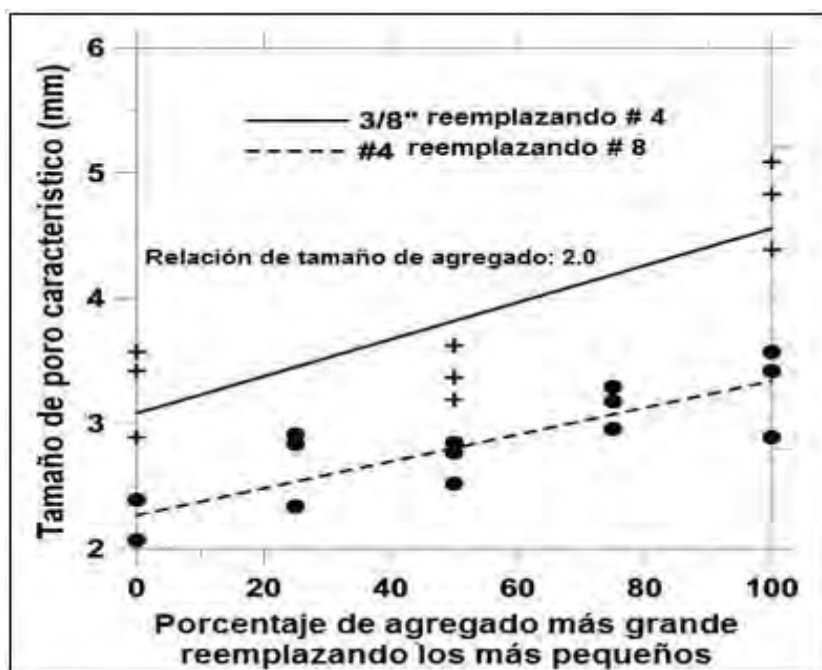


*Nota.* Reporte sobre concreto permeable, Comité ACI 522R-10

Para analizar la estructura porosa, se utilizó un método de análisis de imagen bidimensional en muestras de concreto permeable. La distribución Weibull se aplicó para describir las "características del área de poros" o las "características del tamaño de poros" en el concreto permeable.

**Figura 11**

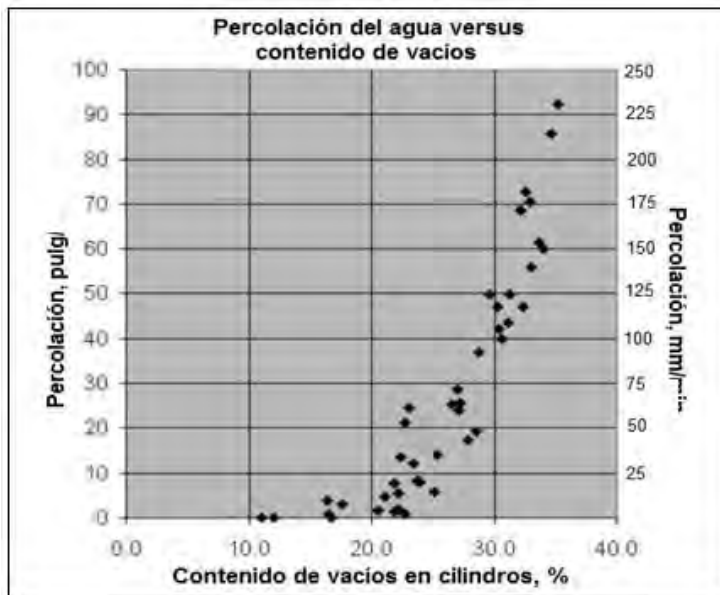
*Tamaño de poro versus porcentaje de agregado más grande.*



*Nota.* Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

**2.2.3.2.4 Permeabilidad.** Un aspecto esencial del concreto permeable es su habilidad para permitir la filtración del agua a través de su estructura. La tasa de percolación en este material está intrínsecamente ligada al volumen de vacíos y al tamaño de los poros. Investigaciones de Meininger han demostrado que un 15% de contenido de vacíos es necesario para lograr una filtración efectiva. Con una porosidad del 20 al 25%, se ha reportado un coeficiente de permeabilidad aproximado de 0.01 m/s (Brite/Euram Report, 1994).

En la figura 12 (Meininger, 1988), se muestra la correlación entre el contenido de vacíos y la tasa de filtración en mezclas de concreto permeable. Dado que la tasa de filtración aumenta con el incremento del contenido de vacíos, lo cual a su vez reduce la resistencia a la compresión, el desafío en la preparación de concreto permeable radica en encontrar un equilibrio entre una tasa de filtración adecuada y una resistencia a la compresión satisfactoria.

**Figura 12***Percolación versus contenido de vacíos en cilíndricos*

*Nota.* Reporte sobre Concreto Permeable, Comité ACI 522R-10

Carlos Aire (2011) señala que la tasa mínima de infiltración para el concreto permeable debe ser de 0,2 centímetros/segundo. Existen diversos métodos para evaluar la permeabilidad del concreto permeable, siendo el más destacado el descrito en la Norma ASTM C 701 "Método Estándar para Prueba de Infiltración en el Concreto Permeable". Este método implica la colocación de un anillo de infiltración (de 12 pulgadas de diámetro y 2 pulgadas de alto) sobre la superficie, aplicándose un sellador en los bordes para prevenir la salida de agua por la parte inferior. Para determinar la cantidad de agua necesaria en el ensayo, se realiza una prueba preliminar añadiendo 8 libras de agua y midiendo el tiempo necesario para que no quede agua libre en la superficie..

### 2.3 Bases teóricas de fibras de acero trefilado de alta calidad

En este estudio, se adoptó la metodología ACI 544, específica para el Concreto Reforzado con Fibras (también conocido como Concreto Fibroreforzado). Según el Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute, ACI), el Concreto Fibroreforzado se define como un compuesto integrado por una matriz de concreto hidráulico y un elemento de refuerzo de fibras. Estas fibras tienen la capacidad de disminuir significativamente la formación de fisuras debidas a la contracción plástica y mejorar la resistencia del material a la flexión.

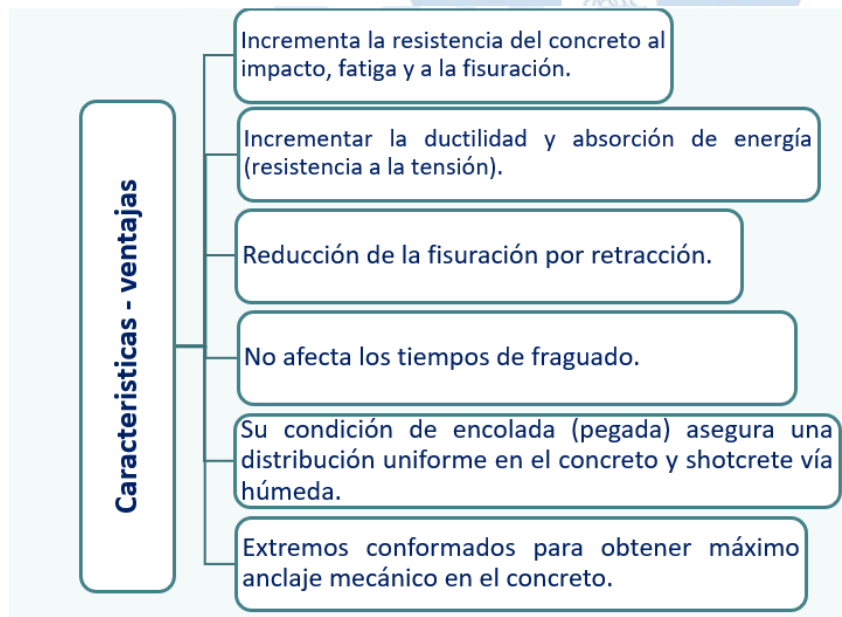
Se seleccionaron para este propósito las fibras de acero SIKA® FIBER CHO 80/60 NB, las cuales están en conformidad con la Norma ASTM A 820, que detalla las "Especificaciones estándar para fibras de acero usadas en hormigón reforzado con fibra".

#### 2.3.1 Fibra de acero SIKA® FIBER CHO 80/60 NB

Las fibras SIKA® FIBER CHO 80/60 NB, hechas de acero trefilado de alta calidad, se emplean para fortalecer tanto el concreto convencional como el concreto proyectado (shotcrete). Estas fibras están diseñadas para integrarse de manera uniforme en el concreto, evitando la formación de grumos de fibras individuales. Entre sus beneficios más notables, destacados en la figura 13, se incluyen el aumento de la resistencia del concreto a impactos, fatiga y fisuración.

**Figura 13**

*Características de fibras trefiladas de alta Calidad*



### 2.3.2 Tipos de fibras de acero trefilado de alta calidad

La eficacia y las ventajas que las fibras aportan al concreto dependen principalmente de su naturaleza y tipo. En la actualidad, la diversidad de fibras disponibles es amplia, y sus detalles se describen a continuación.

Incorporar fibras en la mezcla de concreto otorga propiedades específicas, tanto en su estado fresco como una vez endurecido. Por ello, se pueden categorizar de la manera siguiente:

- Fibras Estructurales: incrementan la energía necesaria para romper el material y mejoran la resistencia a la formación de fisuras cuando el concreto está endurecido.
- Fibras No Estructurales: mitigan la fisuración debido a la retracción (en estado fresco) y aumentan la resistencia al fuego, la abrasión y los impactos.

Además, las fibras se pueden clasificar según los materiales de los que están hechas, incluyendo:

- Naturales: como el amianto (asbesto), celulosa y carbono;
- Sintéticas: incluyen nylon, polipropileno, vidrio, entre otras;
- Metálicas: como el acero al carbono, acero inoxidable, sus aleaciones y aluminio.

La Tabla 3, que se muestra a continuación, detalla características específicas de las fibras mencionadas.

**Tabla 3**

*Características mecánicas de las fibras*

FIBRAS	Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	Densidad ( $10^3 \text{kg/m}^3$ )	Módulo de elasticidad ( $\text{kN/mm}^2$ )	Resistencia a la tracción ( $\text{kN/mm}^2$ )	Alargamiento en la ruptura (%)
Acero	5-500	7.84	200	05-2	0.5 <sup>o</sup> -3.5
Vidrio	9-15	2.60	70-80	2-4	2-3.5
Amianto	0.02-0.04	3.00	180	3.30	2-3
Propileno	20-200	0.90	5-7	0.5-0.75	8
Nylon	-	1.10	4	0.90	13-15
Polietileno	-	0.95	0.30	0.0007	10
Carbono	9	1.90	230	2.60	1
Kevlar	10	1.45	65-133	3.60	2.1-4

FIBRAS	Diámetro ( $\mu\text{m}$ )	Densidad ( $10^3 \text{kg/m}^3$ )	Módulo de elasticidad ( $\text{kN/mm}^2$ )	Resistencia a la tracción ( $\text{kN/mm}^2$ )	Alargamiento en la ruptura (%)
Acrílico	18	1.18	14-19.5	0.4-1	3

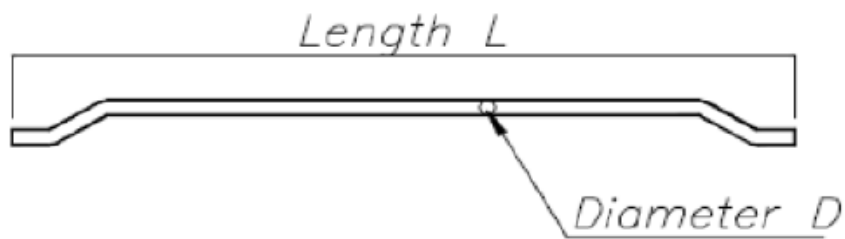
*Nota.* Fibras Wirand y Fibromac - Maccaferri 2009

### 2.3.2.1 Fibras de acero

Las fibras de acero se incorporan en el concreto como un refuerzo tridimensional, distribuyéndose de manera uniforme en todo su volumen. Estas fibras se distinguen por sus características geométricas, que incluyen la longitud ( $L$ ), el diámetro equivalente ( $D_e$ ) y el tipo de anclaje en los extremos, como se ilustra en las figuras 14 y 15.

#### Figura 14

*Sección típica de una fibra de acero*



*Nota.* Fibras Wirand y Fibromac - Maccaferri 2009

#### Figura 15

*Ejemplo de fibras metálicas sueltas y pegadas con anclaje en las extremidades.*

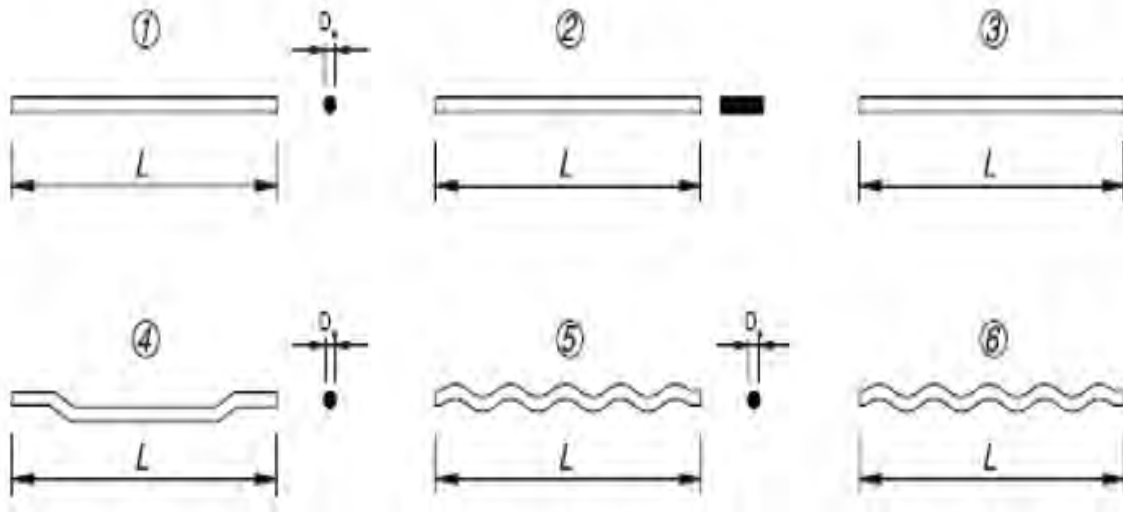


*Nota.* Fibras Wirand y Fibromac - Maccaferri 2009

Las formas y tamaños de las fibras de acero varían considerablemente, presentando distintos tipos de secciones transversales y modificaciones en su configuración longitudinal. Como se muestra en las figuras 16 y 17, estas secciones pueden ser tanto circulares como cuadradas, y las fibras pueden ser rectas o tener un diseño corrugado, entre otras variantes..

**Figura 16**

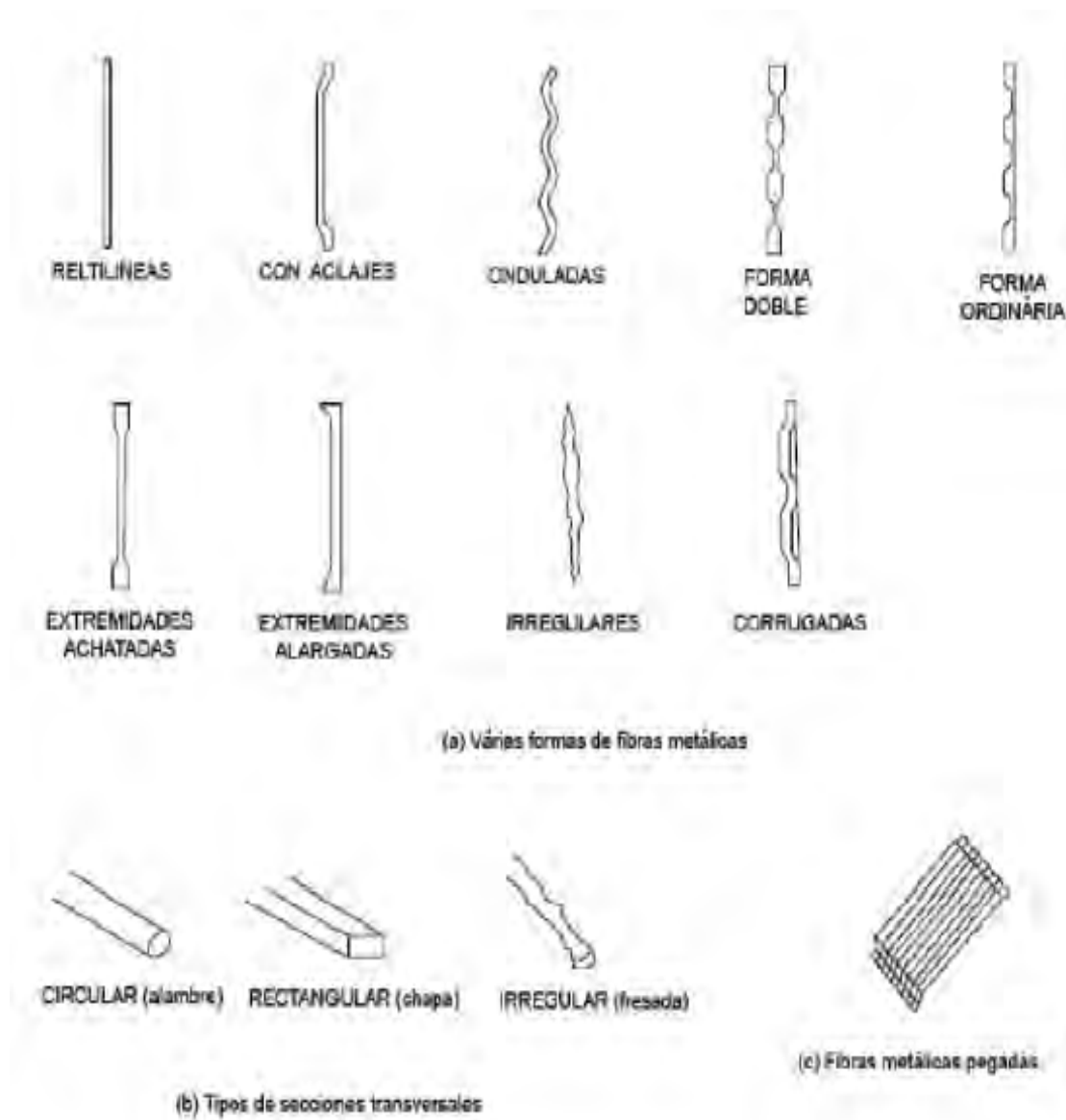
*Ejemplo de diferentes formas de fibras de acero.*



*Nota.* Fibras Wirand y Fibromac - Maccaferri 2009

**Figura 17**

*Ejemplo de diferentes formas de fibras metálicas.*



*Nota.* Fibras Wirand y Fibromac - Maccaferri 2009

Debido a su alta rigidez (módulo de elasticidad), las fibras de acero se consideran un refuerzo principal en el concreto, y su uso va más allá del control de fisuras. Sus dimensiones varían, con diámetros que van de 0.25 a 0.80 mm y longitudes de 10 a 75 mm. De acuerdo con la normativa ASTM A 820, las fibras se clasifican en cuatro categorías:

Tipo I: Fibra de alambre trefilado en frío.

Tipo II: Fibra de hojas metálicas.

Tipo III: Fibra obtenida por fundición.

Tipo IV: Otras variedades de fibra.

### 2.3.2.2 Variedades de fibras de acero SIKA® FIBER

En el mercado actual se encuentran disponibles diversas variantes de las fibras SIKA® FIBER, diferenciándose principalmente en la longitud y el diámetro de la fibra, como se detalla en la tabla 4.

**Tabla 4**

*Tipos de fibra de acero de alta calidad SIKA FIBER ®*

Nombre de la fibra	Material de producción	Dimensiones		
		Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Factor de forma (L/d)
SIKA FIBER® LHO 45/35 NB	Fibra de acero trefilado de alta calidad	35	0.78	45
SIKA FIBER® CHO 65/35 NB	Fibra de acero trefilado de alta calidad	35	0.54	65
SIKA FIBER® CHO 80/60 NB	Fibra de acero trefilado de alta calidad	60	0.75	80

*Nota.* Catálogo SIKA FIBER ®

### 2.3.3 Especificaciones técnicas de fibras de acero trefilado de alta calidad

La tabla 5 muestra las características técnicas de las fibras de acero trefilado de alta calidad Sikafiber®, utilizadas tanto en concreto tradicional como en concreto proyectado (shotcrete). Estas fibras, denominadas Sikafiber® NB, satisfacen la relación mínima longitud-diámetro (l/d) necesaria para conseguir un concreto que combine resistencia y flexibilidad.

Sika® Fiber NB mejora significativamente el concreto, especialmente en aplicaciones de concreto proyectado (shotcrete), optimizando tiempo y reduciendo costos en comparación con los métodos convencionales de refuerzo con mallas de acero. La incorporación de estas fibras aumenta la ductilidad y resistencia del concreto, ofreciendo ventajas adicionales en su uso..

**Tabla 5**

*Especificaciones técnicas fibras de acero trefilado de alta calidad Sika® Fiber*

Especificaciones técnicas	SIKA FIBER® LHO 45/35 NB	SIKA FIBER® LHO 65/35 NB	SIKA FIBER® LHO 80/60 NB ---
<b>Norma</b>	ASTM A 820 "Steel Fibers for Reinforced Concrete" Tipo I y DIN 17140-D9 para acero de bajo contenido de carbono.		
<b>Presentación</b>	Sacos de papel x 20 kg.		
<b>Almacenamiento</b>	Los sacos de Sika® Fiber pueden almacenarse por tiempo indefinido protegido de la humedad.		
<b>Dimensiones</b>	Longitud:45mm Diámetro:35mm L/d: 0.78	Longitud: 65mm Diámetro: 35mm L/d:0.54	Longitud: 80mm Diámetro: 60mm L/d:0.75
<b>Resistencia a la tracción</b>	>800 Mpa	1300 Mpa	1200 Mpa
<b>Elongación de ruptura</b>	4% max	4% max	4% max
<b>Dosis</b>	Normalmente entre 20 y 50 kg. de Sikafiber® LHO - 45/35 NB por m3 de concreto.	Normalmente entre 15 - 50 kg. de Sika® Fiber CHO 65/35 NB por m3 de concreto.	Normalmente entre 10 y 45 kg de Sika® Fiber CHO 80/60 NB por m3 de concreto.
<b>Observación técnica</b>	No agregue Sika® Fiber al mezclador antes de los áridos. Las bolsas con papel hidrosolubles pueden agregarse directamente al concreto.		
Nota: Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.			

Nota. Catálogo SIKA FIBER®

### **2.3.4 Características de los materiales y de la mezcla de concreto permeable**

El concreto permeable, también conocido como concreto sin finos, concreto poroso o con alta porosidad, se compone de agregado grueso de dimensión uniforme, cemento Portland estándar, aditivos y agua. Esta combinación resulta en una masa de agregado grueso rodeada por una película de pasta de cemento, que se solidifica en los puntos de contacto, creando espacios vacíos entre los agregados. Esto facilita una infiltración de agua significativamente superior a la del concreto tradicional.

La permeabilidad y resistencia alcanzadas con el pavimento de concreto permeable dependen de su composición específica. Por lo tanto, los factores que afectan su desempeño incluyen: la cantidad de cemento, la proporción agua/cemento, la granulometría, los aditivos y el volumen de vacíos.

A continuación, se examinarán los materiales y sus propiedades empleados en la formulación del concreto permeable, en concordancia con las directrices del informe del Comité ACI 522, 522R-10, y las normativas ASTM relacionadas con cada componente.

**2.3.4.1 Agregados.** Los agregados deberán ajustarse a las normas ASTM C33-07 y ASTM D448-07. Son especialmente relevantes dos aspectos de los agregados en la proporción de las mezclas de concreto: su granulometría, que es vital para determinar el contenido de cemento y agua, la estética del pavimento, la compactabilidad, la trabajabilidad y el proporcionamiento de la mezcla; y la naturaleza de las partículas, incluyendo forma, porosidad y textura superficial

La calidad del agregado es crucial tanto para el concreto permeable como para el convencional. Es fundamental evitar agregados con formas escamosas o alargadas y asegurar una distribución homogénea libre de recubrimientos como polvo o arcilla, que podrían perjudicar la adhesión entre la pasta y el agregado y afectar la hidratación del cemento.

**2.3.4.1.1 Agregado Grueso.** La estructura interna del concreto permeable se caracteriza por partículas de agregado grueso en contacto, unidas por puentes de pasta de cemento o mortero. La resistencia del concreto se transmite a través de estos puentes, y su cantidad por unidad de volumen depende del tamaño y gradación del agregado grueso. Una granulometría más uniforme resulta en menor resistencia comparada con una bien graduada. Dada la importancia de los esfuerzos mecánicos en el agregado grueso para el concreto permeable, es crucial ser más riguroso con respecto a su desgaste.

El agregado grueso debe cumplir con los requisitos de gradación y tamaño definidos en la norma ASTM D 448 – 08, complementándose con la norma ASTM C 33 - 07; ACI 522R-. Generalmente, el tamaño máximo nominal del agregado grueso varía entre  $\frac{3}{4}$  y  $\frac{3}{8}$  de pulgada (19 a 9.5 mm), pero tamaños mayores pueden aumentar la porosidad, aunque disminuyen la trabajabilidad. Se recomienda evitar agregados bien graduados para mantener una porosidad adecuada, con un máximo del 15% que pase la malla N° 4 (4.75 mm).

**2.3.4.1.2 Agregado fino.** El agregado fino se define como aquel que pasa a través del tamiz No.4 hasta el No.100, clasificándose en arena natural, de río o manufacturada. Debe estar dentro de los límites de la Norma ASTM C 33 y no exceder 0.10 m<sup>3</sup> por cada 1.0 m<sup>3</sup> de concreto permeable. Conocer las características de los agregados permite anticipar su influencia tanto en el estado endurecido como en el fresco del concreto.

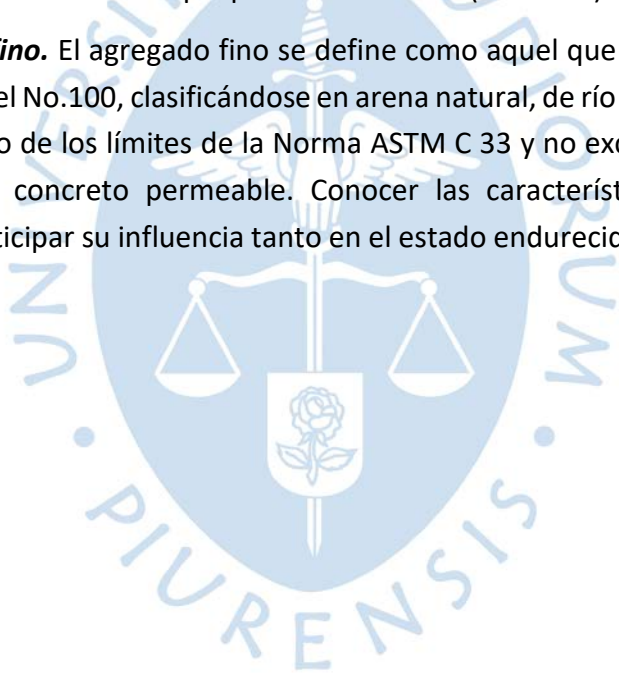


Tabla 6

*Influencia de características de agregados en el concreto permeable*

Características de los Agregados	Estados del concreto permeable	
	Concreto Fresco	Concreto Endurecido
<b>Granulometría</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Manejabilidad</li> <li>✓ Requerimiento de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia Mecánica</li> <li>✓ Economía</li> </ul>
<b>Limpieza (materia orgánica, limo, arcilla y otros fines indispensables)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Requerimiento de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Durabilidad</li> <li>✓ Resistencia Mecánica</li> </ul>
<b>Densidad (gravedad específica)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Peso Unitario</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Peso Unitario</li> </ul>
<b>Absorción y porosidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pérdida de agua en la mezcla</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia mecánica</li> <li>✓ Permeabilidad</li> </ul>
<b>Forma de partículas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Trabajabilidad</li> <li>✓ Requerimiento de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia mecánica</li> <li>✓ Permeabilidad</li> </ul>
<b>Textura Superficial</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Trabajabilidad</li> <li>✓ Requerimiento de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia mecánica</li> <li>✓ Resistencia al desgaste</li> </ul>
<b>Tamaño máximo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Segregación</li> <li>✓ Peso Unitario</li> <li>✓ Requerimiento de agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia mecánica</li> <li>✓ Permeabilidad</li> <li>✓ Peso Unitario</li> <li>✓ Economía</li> </ul>
<b>Resistencia a la Abrasión</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ninguno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Resistencia a la abrasión</li> <li>✓ Duración</li> </ul>
<b>Coefficiente de expansión térmica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Ninguno</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Propiedades térmicas</li> </ul>

*Nota.* Normas ASTM C33-07, ASTM C 1688-09, ASTM C 131-07, ASTM C 29-07

**2.3.4.2 Cemento.** Según la National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA) de los Estados Unidos y el informe ACI 522R-10, los cementos empleados en la preparación de concretos permeables deben cumplir con las Normas ASTM C 150 / NTP 334.009, ASTM C 595 / NTP 334.090 y ASTM C 1157 / NTP 334.090. La proporción de material cementante utilizada afecta directamente la resistencia a compresión y el contenido de vacíos del concreto. Una cantidad insuficiente de cemento podría disminuir la cohesión de la pasta con el agregado y, por ende, reducir la resistencia a compresión. Por otro lado, un exceso de cemento llenaría los vacíos, disminuyendo la porosidad. La cantidad óptima de material cementante debe estar en relación con el tamaño y granulometría del agregado. Una mayor dosis de cemento resultará en un concreto más resistente, pero demasiado cemento reducirá el porcentaje de vacíos interconectados, afectando su capacidad de infiltración. Se recomienda una dosis de cemento que varíe entre 350-400 kg/m<sup>3</sup>, de acuerdo con los requisitos de resistencia y permeabilidad.

**2.3.4.3 Agua.** La calidad del agua para el concreto permeable debe cumplir con las mismas exigencias que para los concretos convencionales. El concreto permeable debe prepararse con una baja relación agua/material cementante (0.26 a 0.40), ya que un exceso de agua podría causar que la pasta fluya y selle el sistema de poros. Los límites permisibles del agua para su uso en el diseño de mezclas y curado del concreto permeable se presentan en la Tabla 7, siguiendo los criterios y requisitos de la norma ASTM D-1293 / NTP 339.088. Es crucial que el agua cumpla con los estándares de potabilidad y esté libre de materiales perjudiciales como grasas, aceites y materia orgánica. Además, es esencial mantener el contenido de sustancias disueltas y las propiedades del agua dentro de los límites especificados en la normativa para garantizar la calidad y eficacia del concreto permeable en su aplicación.

**Tabla 7**

*Límites permisibles para la mezcla de agua y curado según la Norma NTP 339.088*

Descripción	Límite permisible
<b>Sólidos en suspensión (residuo insoluble)</b>	5000 ppm
<b>Máximo Materia Orgánica</b>	3 ppm
<b>Máximo Alcalinidad (NaHCO<sub>3</sub>)</b>	1000 ppm
<b>Máximo Sulfatos (ión SO<sub>4</sub>)</b>	600 ppm
<b>Máximos Cloruros (ión Cl<sup>-</sup>)</b>	1000 ppm
<b>Máximo PH</b>	5 - 8

*Nota.* Límites permisibles para el agua de mezcla y curado, Norma NTP 339.088

## 2.4 Ensayos de laboratorio aplicables a concreto permeable.

Para lograr un diseño óptimo de mezclas de concreto permeable, es indispensable realizar ensayos previos a los materiales, siguiendo las normas técnicas peruanas (NTP) y las normas de la American Society for Testing and Materials (ASTM). Estos ensayos desempeñan un papel crucial en la determinación de las propiedades básicas de los materiales implicados en el proceso. Con el propósito de proporcionar una guía clara, se muestra en la Tabla 8 un resumen de los requisitos normativos que los ensayos de laboratorio aplicados a los agregados deben cumplir, junto con sus respectivas referencias a normas nacionales e internacionales. Además, en la Tabla 9 se presenta un resumen de las Normas técnicas aplicables a los ensayos de laboratorio para el concreto. Estas normas son fundamentales para una evaluación precisa de los materiales, contribuyendo así a la obtención de un concreto permeable de alta calidad y rendimiento óptimo.

**Tabla 8**

*Normas técnicas para ensayos de laboratorio para agregados*

<b>ENSAYOS</b>	<b>Norma internacional ASTM</b>	<b>Norma peruana N.T. P</b>
<b>Muestreo de Agregado</b>	D 75	400.01
<b>Peso Específico y Absorción</b>	C 127	400.021
<b>Contenido de Humedad</b>	C 70	339.185
<b>Análisis Granulométrico</b>	C 136	400.012
<b>Cantidad de Material Fino que pasa el tamiz N° 200</b>	C 117	339.132
<b>Peso Unitario</b>	C 29	400.017
<b>Resistencia a la Abrasión. Los Ángeles</b>	C 131	400.019

**Tabla 9***Normas técnicas para ensayos de laboratorio para el concreto*

<b>Ensayos</b>	<b>Norma internacional ASTM</b>	<b>Norma peruana N.T.P.</b>
<b>Muestreo de Concreto Fresco</b>	C 172	339.036
<b>Asentamiento – Slump</b>	C 143	339.035
<b>Peso Unitario, Rendimiento</b>	C 138	339.046
<b>Elaboración y Curado de Muestras de Concreto para Ensayos de Laboratorio</b>	C 192	339.183
<b>Resistencia a la Compresión Testigos Cilíndricos</b>	C 39	339.034
<b>Simple, Carga en el centro de la luz</b>	C 293	339.079
<b>Permeabilidad</b>	ACI 522R-10	---

**Tabla 10***Norma técnica para calidad de cemento*

<b>Ensayo</b>	<b>Normal internacional ASTM</b>	<b>Norma peruana NTP</b>
<b>Densidad del Cemento Portland</b>	C 188	334.05

## 2.5 Requerimiento técnico mínimo de concreto permeable

La principal propiedad para ser considerado un concreto permeable es justamente la permeabilidad, que no debe ser menor a 0.2 cm/seg, tal como se muestra en la tabla 11 adjunta.

**Tabla 11**

*Propiedades típicas del concreto permeable*

Propiedad	Rango
Revenimiento, mm	20
Peso unitario, kg/m <sup>3</sup>	1600 – 2000
Tiempo de fraguado <sup>1</sup> , hora	1
Porosidad, % (en volumen)	15–25
Permeabilidad <sup>2</sup> , lt/m <sup>2</sup> /min (cm/seg)	120–320 (0.20–0.54)
Resistencia a compresión, MPa	3.5–28
Resistencia a flexión, MPa	1 – 3.8
Contracción	200 × 10 <sup>-4</sup>

<sup>1</sup> Con aditivos químicos, se puede extender el tiempo.

<sup>2</sup> En laboratorio se han encontrado valores de velocidad de flujo tan altas como 700 lt/m<sup>2</sup>/min.

*Nota.* Propiedades típicas del concreto permeable (Carlos Aire, 2011)

## 2.6 Requerimiento técnico mínimo de pavimentos rígidos

La norma técnica peruana CE.010 Pavimentos Urbanos, establece que el módulo de rotura mínimo para pavimentos rígidos es de 34 kg/cm<sup>2</sup>, según lo indicado en la tabla 12.

**Tabla 12**

*Requisitos mínimos para diferentes tipos de pavimentos*

Elemento		Tipo de Pavimento		
		Flexible	Rígido	Adoquines
Sub-rasante		95 % de compactación: Suelos Granulares - Proctor Modificado Suelos Cohesivos - Proctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – Vías locales y colectoras ≥ 300 mm – Vías arteriales y expresas		
Sub-base		CBR ≥ 40 %	CBR ≥ 30 %	
Base		CBR ≥ 80 %	N.A.*	CBR ≥ 80%
Imprimación/capa de apoyo		Penetración de la Imprimación ≥ 5 mm	N.A.*	Cama de arena fina, de espesor comprendido entre 25 y 40 mm.
Espesor de la capa de rodadura	Vías locales	≥ 50 mm	≥ 150 mm	≥ 60 mm
	Vías colectoras	≥ 60 mm		≥ 80 mm
	Vías arteriales	≥ 70 mm		NR**
	Vías expresas	≥ 80 mm		NR**
Material		Concreto asfáltico ***	MR ≥ 34 Kg/cm <sup>2</sup> (3,4 MPa)	f <sub>c</sub> ≥ 380 Kg/cm <sup>2</sup> (38 MPa)

Notas: \* N.A.: No aplicable; \*\* N.R.: No Recomendable; \*\*\* El concreto asfáltico debe ser hecho preferentemente con mezcla en caliente. Donde el Proyecto considere mezclas en frío, estas deben ser hechas con asfalto emulsificado.

*Nota.* Norma CE.010 Pavimentos Urbanos (Reglamento nacional de Edificaciones)

## Capítulo 3 Metodología

### 3.1 Diseño metodológico general

#### 3.1.1 Ubicación geográfica de la investigación

La investigación esta circunscrita la ciudad de Jaén, perteneciente a la región Cajamarca.

#### 3.1.2 Tipo, nivel, diseño y método de la investigación.

La Tabla 13 muestra las diferentes características de una investigación en términos de su tipo, nivel, diseño y método. Es fundamental comprender estos elementos para determinar cómo se abordará un estudio, qué técnicas se utilizarán y cómo se interpretarán los resultados.

**Tabla 13**

*Tipo, nivel, diseño y método de la investigación.*

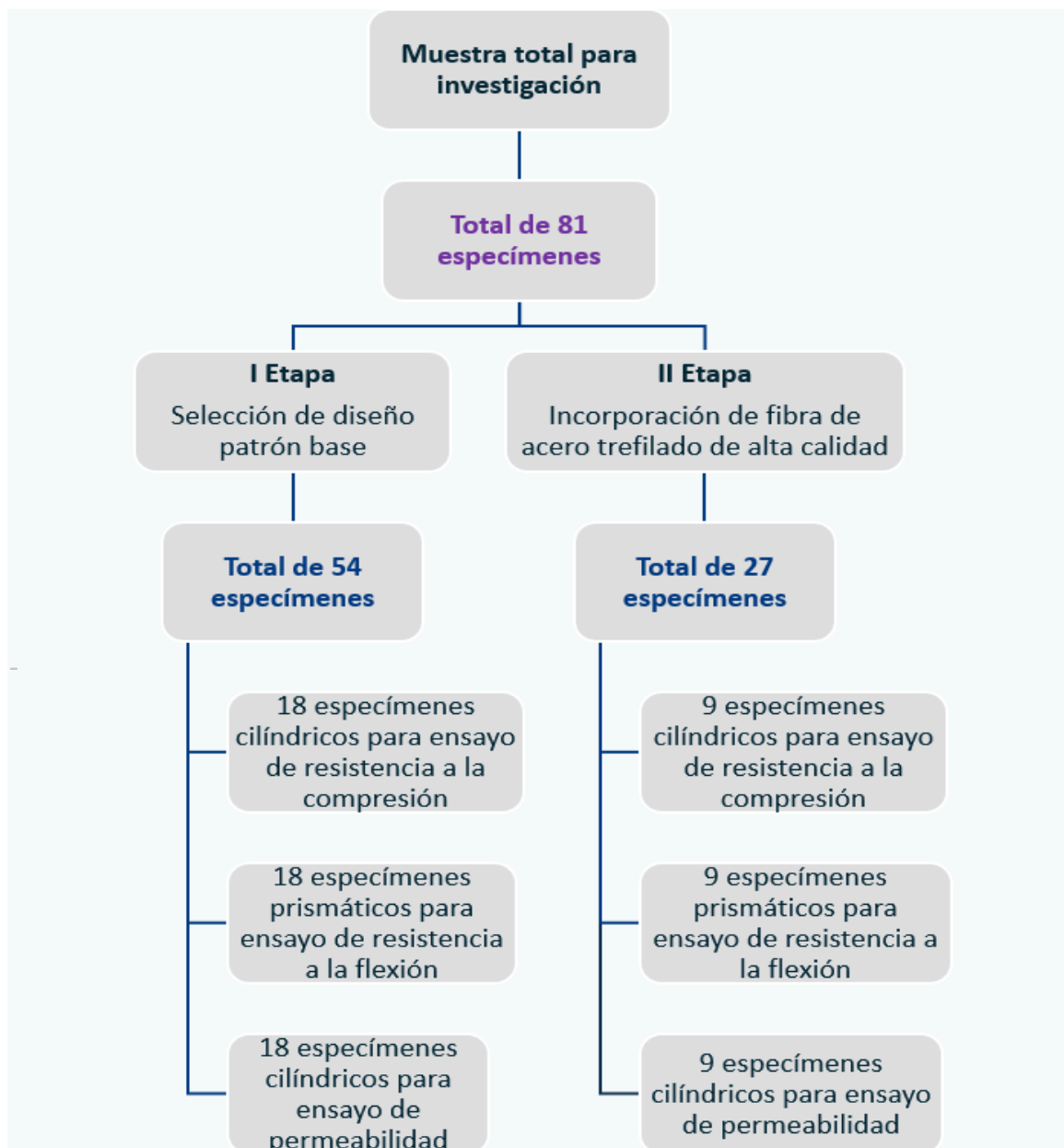
Criterio	Tipo de investigación
Finalidad	Aplicada
Estrategia o enfoque teórico metodológico	Cuantitativa
Objetivos (alcances)	Explicativa
Fuente de datos	Primaria
Control en el diseño de la prueba	Experimental
Temporalidad	Transversal(sincrónica)
Contexto donde sucede	Laboratorio
Intervención disciplinaria	Unidisciplinaria

#### 3.1.3 Objeto de estudio.

Para la presente investigación la población en estudio serán los especímenes de concreto permeable con fibras de acero trefilado de alta calidad fabricados en el laboratorio.

#### 3.1.4 Muestra.

El presente estudio de investigación se realizó con una muestra total de 81 especímenes, los cuales fueron divididos en dos etapas: 54 especímenes para la I etapa y 27 especímenes para la II etapa, tal como se muestra en el esquema de la figura 18.

**Figura 18***Esquema de muestras en investigación*

En la primera etapa, los 54 especímenes se distribuyeron de la siguiente manera: 18 especímenes cilíndricos para ensayo de resistencia a la compresión, 18 especímenes prismáticos para ensayo de resistencia a la flexión y 18 especímenes cilíndricos para ensayo de permeabilidad.

Por otro lado, en la segunda etapa, los 27 especímenes se distribuyeron de la siguiente forma: 9 especímenes cilíndricos para ensayo de resistencia a la compresión, 9 especímenes prismáticos para ensayo de resistencia a la flexión y 9 especímenes cilíndricos para ensayo de permeabilidad.

### 3.1.5 Unidad de análisis.

La unidad de análisis será la probeta o también llamado espécimen de concreto

## 3.2 Definición de variables

### 3.2.1 Variable independiente

- Proporciones de agregados de la cantera Arenera Jaén en la elaboración de concreto permeable, manteniendo propiedades físico-mecánicas estándar (comerciales, sin ningún procesamiento adicional) y empleando exclusivamente un único tipo de agregado grueso y fino, excluyendo variaciones de otras canteras o tipos de agregados.
- La cantidad de fibras de acero trefilado de alta calidad en la mezcla de concreto.

### 3.2.2 Variables dependientes

- Resistencia a la Flexión.
- Resistencia a la Compresión.
- Permeabilidad.

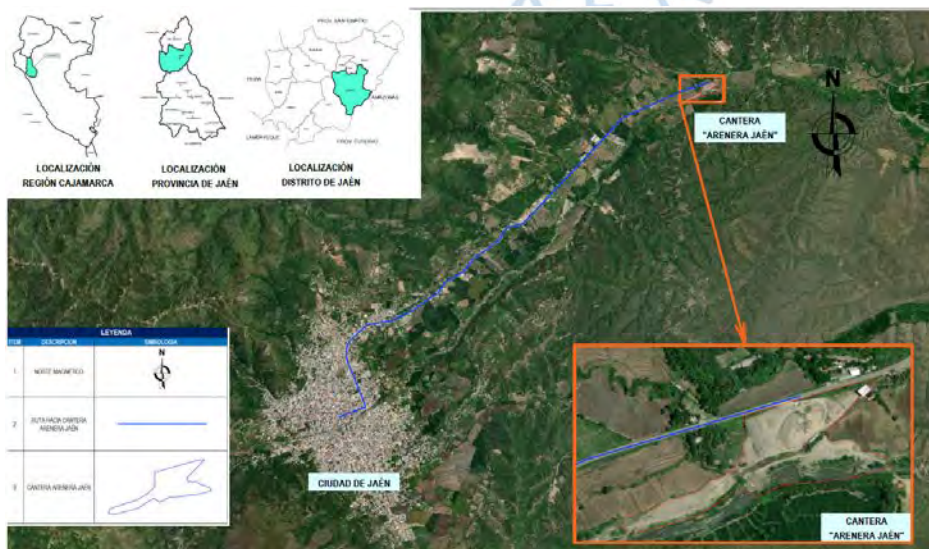
## 3.3 Materiales a utilizar en la investigación

### 3.3.1 Agregados

En el contexto de esta tesis de investigación, utilizaremos agregados provenientes de la cantera "Arenera Jaén", situada en la provincia de Jaén, Región Cajamarca. La figura 19 muestra de manera esquemática la ubicación de esta cantera en relación con la ciudad de Jaén, a una distancia de 10 km aproximadamente.

**Figura 19**

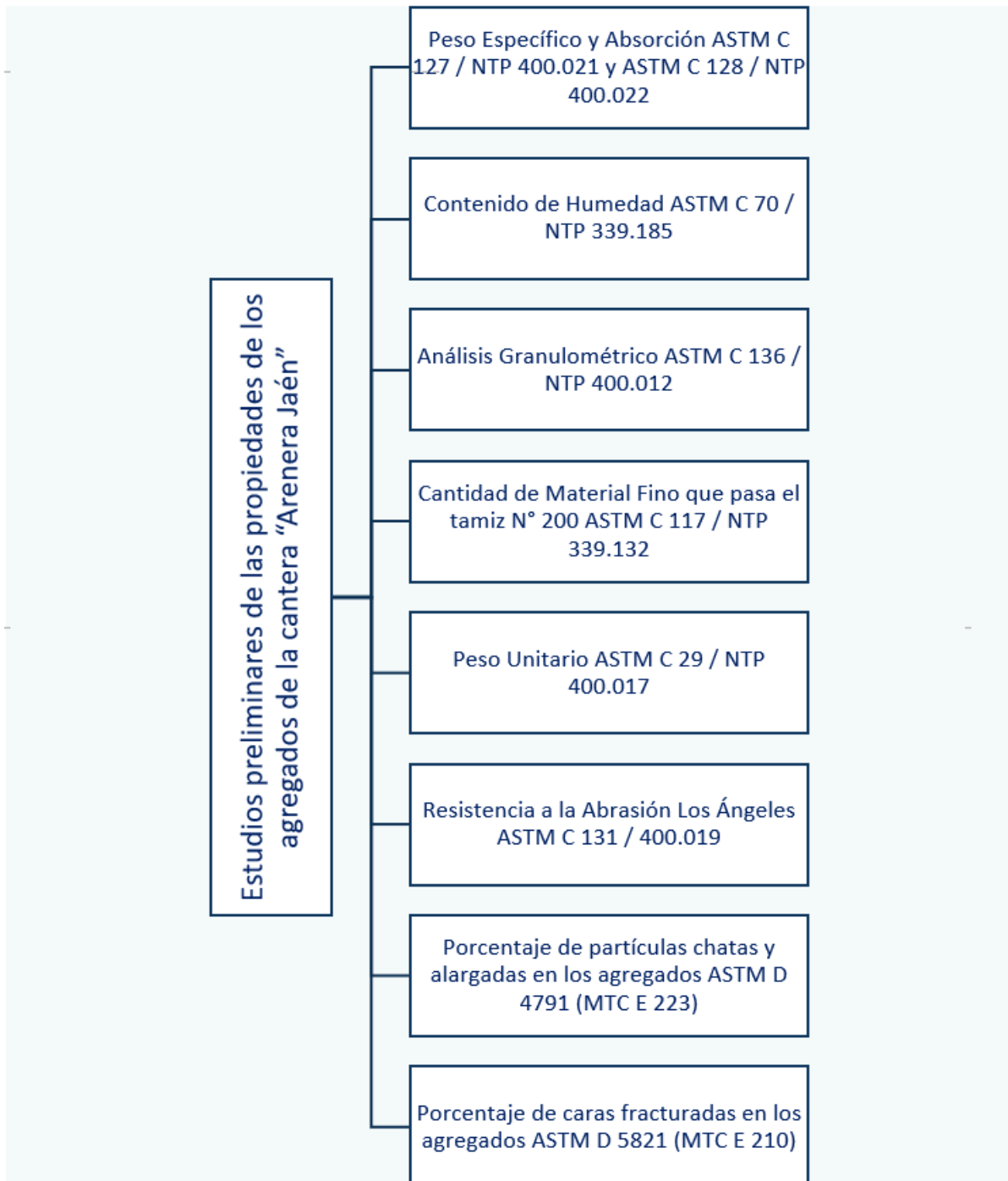
*Ubicación de cantera Arenera Jaén*



Para poder conocer las propiedades de los agregados, se llevaron a cabo los ensayos descritos en la figura 20, con el fin de determinar sus propiedades físicas tales como peso específico, contenido de humedad, granulometría, módulo de finura y tamaño máximo nominal.

**Figura 20**

*Ensayos para caracterización de agregados de cantera Arenera Jaén*



**3.3.1.1.1 Agregado Grueso.** El agregado grueso presenta un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ", encontrándose dentro del uso granulométrico N° 67. Así mismo presenta un peso específico de 2.75 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario compactado de 1603 kg/m<sup>3</sup>.

En relación con el porcentaje de partículas chatas y alargadas, se registra un 6.38% de partículas chatas y un 6.36% de partículas alargadas. Estos valores se encuentran en conformidad con las directrices establecidas por la normativa peruana, como se detalla en la tabla 14, la cuál especifica los requisitos para los agregados destinados al concreto hidráulico convencional. Aunque esta tabla está dirigida al concreto hidráulico, se ha adoptado como referencia ya que el concreto permeable propuesto se utilizará en la construcción de pavimentos rígidos. Además, dado que las normas internacionales no fijan parámetros específicos para este indicador en concreto permeable, se concede margen de decisión al diseñador. Dentro de este contexto, siendo parte integral del propósito investigativo el empleo de agregados comerciales de la cantera arenera Jaén, se ha establecido que los porcentajes de partículas chatas y alargadas son notablemente similares, lo que sugiere una potencial equidad en la distribución de tamaños de agregado. Por tanto, el equilibrio entre partículas planas y alargadas en el concreto permeable desempeña un papel crucial en la permeabilidad del material. Una proporción adecuada de estas partículas permite mantener una estructura porosa coherente, facilitando el flujo de agua a través del concreto. Una distribución balanceada de partículas contribuye a preservar la permeabilidad deseada para un drenaje efectivo, evitando la obstrucción de poros y garantizando el rendimiento óptimo del concreto permeable en aplicaciones que requieren gestión sostenible del agua.

**Tabla 14**

*Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico*

Ensayo		Norma MTC	Norma NTP	Requisito
<b>Dureza</b>				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles		MTC E 207	NTP 400.019 NTP 400.020	40
<b>Durabilidad</b>				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo $\geq 3\ 000$ msnm.	- Sulfato de sodio	MTC E 209	NTP 400.016	12
	- Sulfato de magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	18
<b>Limpieza</b>				
Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo		MTC E 212	NTP 400.015	3
Carbón y lignito, % máximo		MTC E 211	NTP 400.023	0,5
<b>Geometría de las partículas</b>				
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), % mínimo		MTC E 210	D - 5821 (*)	60
Partículas chatas y alargadas (relación 5:1), % máximo		--	NTP 400.040	15
<b>Características químicas</b>				
Contenido de sulfatos, expresado como SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> , % máximo.		--	NTP 400.042	1,0
Contenido de cloruros, expresado como Cl <sup>-</sup> , % máximo.		--	NTP 400.042	0,1

*Nota.* Tabla 438-06 requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES [MTC], 17 de julio del 2013)

En relación a las fracturas en las caras de los agregados, se ha obtenido que el porcentaje de caras fracturadas es del 88% para una cara fracturada y del 76% para dos caras fracturadas. Estos valores cumplen con las pautas normativas establecidas por las regulaciones peruanas, específicamente las indicadas en la tabla 15. Dicha tabla detalla los requisitos concernientes al agregado grueso utilizado en bases de concreto hidráulico poroso. Para áreas situadas a altitudes menores a 3000 metros sobre el nivel del mar, como es el caso de la ciudad de Jaén ubicada a 729 m.s.n.m, se establece que los porcentajes mínimos de partículas con una cara fracturada deben ser del 80%, mientras que el porcentaje mínimo de partículas con dos caras fracturadas debe alcanzar el 70%, por tanto, el agregado grueso de la cantera arenera jaén cumple ambos valores mínimos.

Es relevante destacar que los valores previamente citados para los agregados utilizados en las bases de concreto permeable, presentados en la tabla 15, constituyen una de las escasas referencias directas encontradas en las normativas peruanas que abordan la cuestión del concreto permeable. Asimismo, en las normativas internacionales no se definen valores mínimos específicos en relación a las superficies fracturadas de los agregados en este tipo de concreto, lo cual deja esta determinación sujeta al criterio y evaluación del diseñador.

Las fracturas presentes en los agregados de concreto permeable impactan en dos aspectos fundamentales de sus propiedades: por un lado, aumentan la rugosidad de las partículas, lo que mejora la adherencia con la pasta de cemento y, por ende, fortalece su resistencia mecánica; por otro lado, contribuyen a la formación de una estructura de poros interconectados que facilitan el flujo de agua y promueven la permeabilidad del material. El balance logrado entre la mejora en la resistencia y el aumento de la permeabilidad subraya la relevancia de considerar tanto la cantidad como la naturaleza de las caras fracturadas al diseñar la composición del concreto permeable. Esto se traduce en un desempeño óptimo en ambas propiedades clave del material.

**Tabla 15**

*Requerimientos agregado grueso para bases de concreto hidráulico poroso*

Ensayo	Norma MTC	Requerimientos Altitud	
		< 3.000 msnm	≥ 3.000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	80% mín.	80% mín.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	70% mín.	70% mín.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	40% máx.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	15% máx.	15% máx.
Sales solubles totales	MTC E 219	0,5% máx.	0,5% máx.
Durabilidad al sulfato de magnesio	MTC E 209	-.-	18% máx.
Soft Particles	ASTM C 235 AASHTO T 189	5% máx.	5% máx.

Norma. Tabla 403.A-02 Requerimientos agregado grueso para bases de concreto hidráulico poroso (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES [MTC], 17 de julio del 2013, p. 181)

Cabe destacar que el enfoque fundamental de esta investigación se centra en la evaluación de la influencia ejercida por las fibras de acero trefilado de alta calidad sobre las propiedades del concreto permeable destinado a pavimentos rígidos. Este análisis se realiza mediante la utilización de agregados provenientes de fuentes comerciales en la ciudad de Jaén, específicamente de la cantera arenera Jaén. Por lo tanto, se sugiere que aquellos interesados en futuras investigaciones consideren la posibilidad de evaluar variables específicas, como la morfología de partículas planas, alargadas y fracturadas, y su eventual influencia directa en las propiedades del concreto permeable. No obstante, es importante aclarar que este aspecto no constituye una variable en el enfoque central de la presente investigación

La Figura 21 presenta una fotografía a escala del agregado grueso utilizado en el diseño de mezclas de concreto permeable durante el desarrollo de esta investigación. Este agregado, en concordancia con las características previamente mencionadas, exhibe una gradación diversa que posibilita la creación de espacios interconectados. Además, su tamaño máximo es de  $\frac{3}{4}$ "", lo que contribuye a mejorar la permeabilidad, y sus partículas de forma angular promueven la porosidad, facilitando un drenaje efectivo del agua a través de la estructura. Estas características colaboraron en la elaboración de un concreto permeable eficaz en la gestión sostenible de aguas pluviales mediante su aplicación en pavimentos rígidos.

**Figura 21**

*Agregado grueso de cantera "Arenera Jaén"*



0 0.02 0.04 0.06 0.08 0.1 metros

ESCALA 1:1

**3.3.1.1.2 Agregado Fino.** El agregado fino utilizado en el diseño de mezclas de concreto permeable en esta investigación tiene un peso específico de 2.67 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario compactado de 1844 kg/m<sup>3</sup>. La Figura 22 muestra una imagen a escala del agregado fino..

**Figura 22**

*Agregado fino de cantera "Arenera Jaén"*



La caracterización de los agregados utilizados en la mezcla de concreto permeable es fundamental para comprender y evaluar sus propiedades físicas y mecánicas. En este sentido, se presenta la tabla 16 a continuación, la cual resume las características de los agregados fino y grueso provenientes de la cantera Arenera Jaén y que fueron utilizados en el presente estudio.

**Tabla 16**

*Resumen de las propiedades de los agregados de cantera Arenera Jaén*

Característica del agregado	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Peso Específico de Masa	gr/cm <sup>3</sup>	2.67	2.75
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.62	2.7
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m <sup>3</sup>	1618	1422
Peso unitario Compactado Seco	Kg/m <sup>3</sup>	1844	1603

Característica del agregado	Unidad	Agregado fino	Agregado grueso
Contenido de Humedad	%	3.69	0.69
Absorción	%	1.21	1.13
Módulo de Finura		3.19	7.93
Tamaño Máximo Nominal	Pulgada(in)		¾"
Partículas <Tamiz Nº200		1.26	-
Una cara fracturada	%	-	88
Dos caras fracturadas	%	-	76
Partículas chatas	%	-	6.38
Partículas alargadas	%	-	6.36

### 3.3.2 Cemento

El tipo de cemento empleado en este estudio fue el Cemento Pacasmayo Tipo Ico (Extra-Forte), que presenta una densidad de 3.0 gr/cm<sup>3</sup> y está conforme con las regulaciones establecidas en las normas NTP 334.009 y ASTM C 150.

### 3.3.3 Agua

Para el suministro de agua en el proceso, se utilizó agua potable proporcionada por la E. P.S. Marañón de la localidad de Jaén, la cual está en conformidad con la normativa ASTM D-1293/ NTP 339.088.

### 3.3.4 Fibras de Acero

En cuanto a las fibras de acero empleadas, se utilizaron fibras de acero trefilado de alta calidad del tipo SIKA® FIBER CHO 80/60 NB, las cuales cumplen con los estándares establecidos en la Norma ASTM A 820, titulada "Especificación estándar para fibras de acero utilizadas en hormigón reforzado con fibra".

**Tabla 17**

*Resumen de los datos técnicos de la fibra de acero SIKA® FIBER CHO 80/60 NB*

Datos técnicos	Valor	Unidad
Longitud	60	mm
Diámetro de la fila	0.7	mm
Relación Longitud/Diámetro	80	%
Resistencia a tracción	1200	MPa
Elongación de rotura	4 máx	%

*Nota.* Hoja técnica de la fibra de acero SIKA® FIBER CHO 80/60 NB, de Building Trust SIKA

**Figura 23**

*Fibra de acero trefilado de alta calidad SIKA® FIBER CHO 80/60 NB*



Nota. Hoja técnica de la fibra de acero SIKA® FIBER CHO 80/60 NB, de Building Trust SIKA

### **3.4 Diseño de mezcla de concreto permeable - I etapa**

Para poder hablar del diseño de mezclas de un concreto permeable, tenemos que conocer la normativa que rige sobre ello, para lo cual nos guiaremos de los procedimientos establecidos en el método del Comité 211.3R-02 del ACI y ACI 522-10 "Reporte sobre Concreto Permeable". Partiendo de estas dos normas es que nosotros procedemos a elaborar el diseño de mezcla, sin embargo, tal como se precisa en estas normas, los valores que nos indican son referenciales dado que existen muchos factores que influyen en las propiedades de un

concreto permeable, no existiendo métodos de prueba estandarizados que puedan definir exactamente las propiedades de un concreto permeable.

Con relación a lo antes expuesto, los factores que influyen en un concreto permeable son diversos, entre ellos tenemos el tamaño máximo del agregado grueso, la forma del agregado en relación a sus partículas chatas o alargadas; también influye el grado de compactación de la mezcla, la cantidad de agregado fino, la relación agua – material cementante. Es por ello por lo que el método ACI, hace mención de valores y tablas referenciales descritas en el anexo D de la presente investigación.

El procedimiento de diseño de mezcla de un concreto permeable, está descrito en las normas antes mencionadas del ACI (Instituto Americano del concreto), sin embargo, se ha elaborado un diagrama de flujo de la figura 24, con el objetivo de mostrar de forma simplificada dicho procedimiento.

En primer lugar, debemos tener ciertas consideraciones preliminares, como por ejemplo el conocimiento de las propiedades físicas del agregado fino, el agregado grueso y el cemento que vamos a utilizar en nuestro diseño de mezcla. Para el caso de los agregados tenemos que definir la cantera que vamos a utilizar, que en nuestro caso ha sido la cantera “Arenera Jaén”, para luego realizar los ensayos respectivos conforme a norma y obtener su granulometría, tamaño máximo nominal, pesos específicos, contenido de humedad, etc. Para el cemento se tendría que revisar la ficha técnica del fabricante, en esta investigación se está utilizando el cemento Pacasmayo tipo Ico extraforte.

Una vez conocidas las propiedades físicas de los principales insumos que son los agregados y el cemento, se pasó a definir la resistencia a la compresión promedio a la cual se desea alcanzar. Para un pavimento rígido urbano se definió una resistencia superior a los 210 kg/cm<sup>2</sup>, con el objetivo de que sea funcional. La presente investigación está orientada a un pavimento rígido por lo tanto la resistencia mínima considerada es de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Posteriormente se pasó a analizar el asentamiento y el tamaño máximo del agregado grueso, para lo cual se usó la tabla 2.1 del ACI 211.3R-02, que muestra la consistencia de mezcla versus el slump, debiéndose elegir un slump inferior a los 20 - 25 mm. Con respecto al tamaño del agregado grueso la normativa recomienda que deben estar entre 3/8” y 3/4”.

El siguiente paso es definir la relación agua – cemento, siendo éste un paso fundamental para el diseño de mezclas. Existen diversas recomendaciones para definir dichas relaciones, las cuales están comprendidas entre 0.26 -0.40 (ACI 522-10) y 0.35 – 0.45 (apéndice 6 del ACI 211.3R-02). El valor final se determina por prueba y error.

Definidos los parámetros anteriormente mencionados, se procedió a realizar los cálculos de las diferentes cantidades de materiales a utilizarse. Primero se obtuvo las cantidades de agregado grueso utilizando la tabla A6.1 del apéndice 6 del ACI 211.3R-02, donde se define una relación entre el porcentaje de agregados finos y los usos del agregado

grueso. El porcentaje de agregado fino varía entre 0 y 20%, sin embargo, Pervious Concrete Guide 2009 establece que un valor tentativo para poder iniciar con un diseño de mezcla preliminar podría ser 6%; sin embargo, la norma también deja abierta la posibilidad de poder utilizar otros porcentajes. Con el porcentaje de agregado fino definido, se calcula el coeficiente  $b/b_0$  para el cálculo del peso del agregado grueso.

Luego, se procede a calcular la cantidad de cemento, para lo cual se define el porcentaje de vacíos a utilizar, teniendo en consideración las figuras A6.1 y A6.2 del apéndice 6 del ACI, con el cual se ingresará a la figura A6.3 de la misma guía para la obtención del volumen de pasta y posterior cálculo de la cantidad de cemento. Seguidamente, se procede a calcular el volumen de agua de diseño, así como el volumen absoluto de agregados, con lo cual se obtendría el resumen de pesos secos por metro cúbico de mezcla.

Finalmente, al diseño de mezcla obtenido, se aplica una corrección por humedad obteniendo de esta forma las proporciones finales del diseño de mezcla.

El procedimiento detallado con las tablas y fórmulas respectivas del diseño de mezcla de concreto permeable se encuentran en el Apéndice – Procedimiento para elaborar un diseño de mezcla de concreto permeable y anexo D – Metodología para elaboración diseño de mezcla de concreto permeable según metodología de ACI 211.3R- 02.

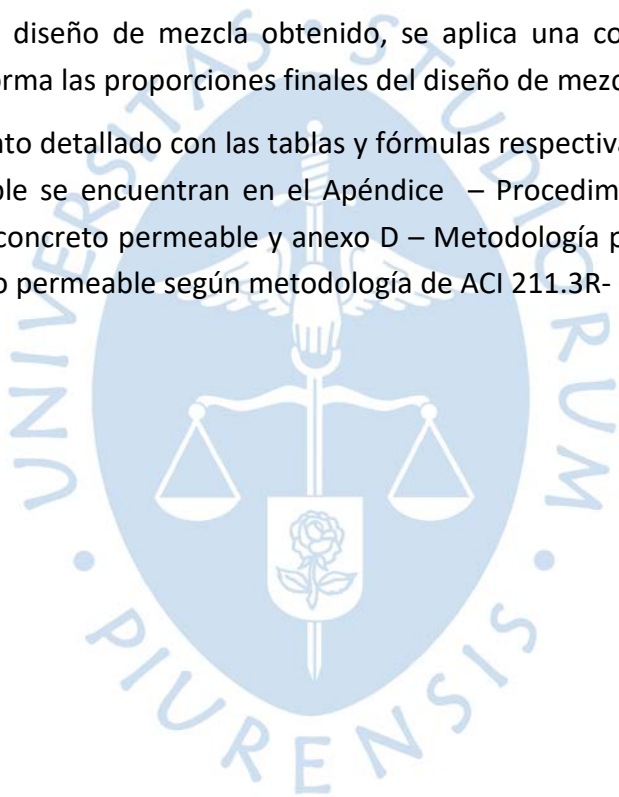
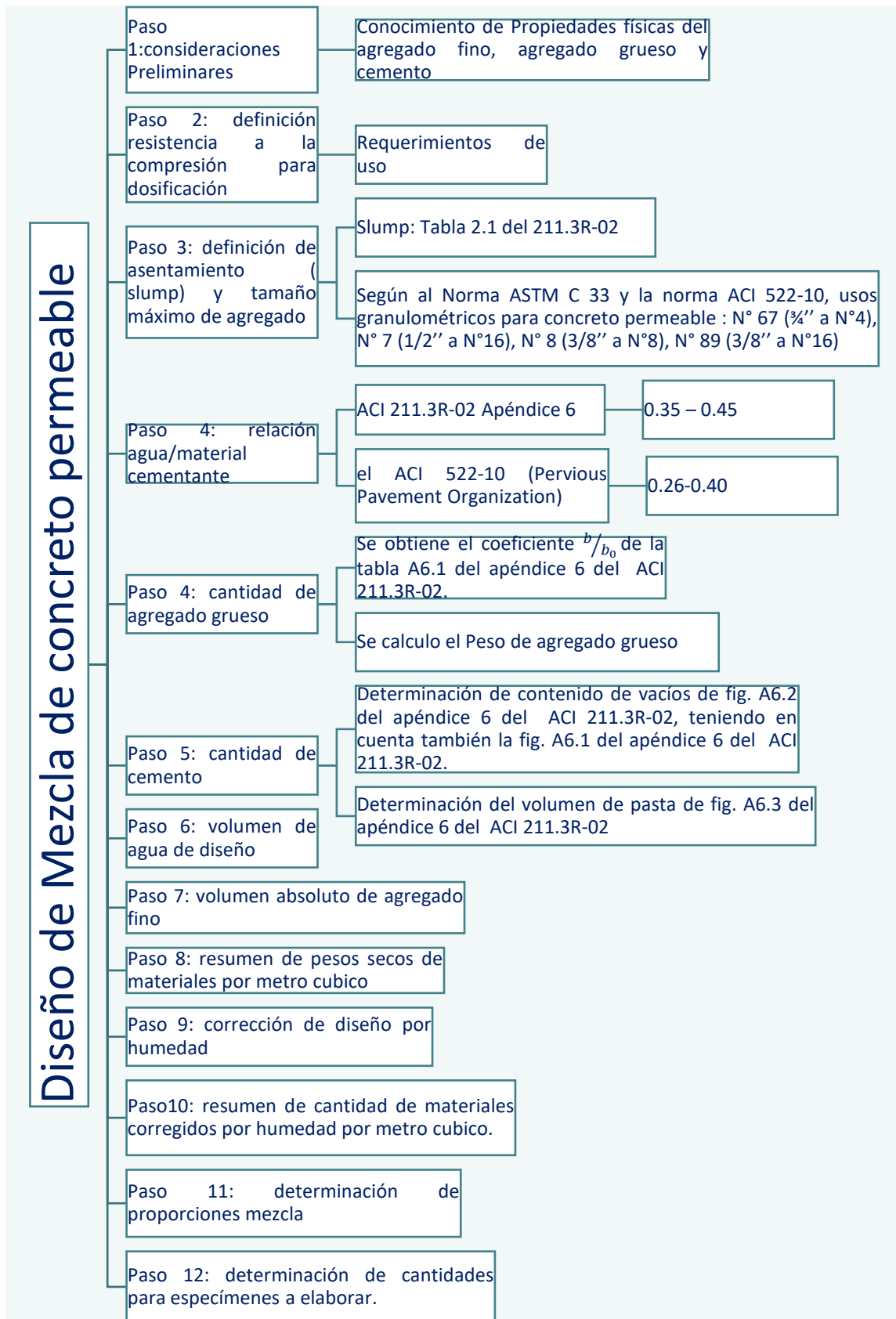


Figura 24

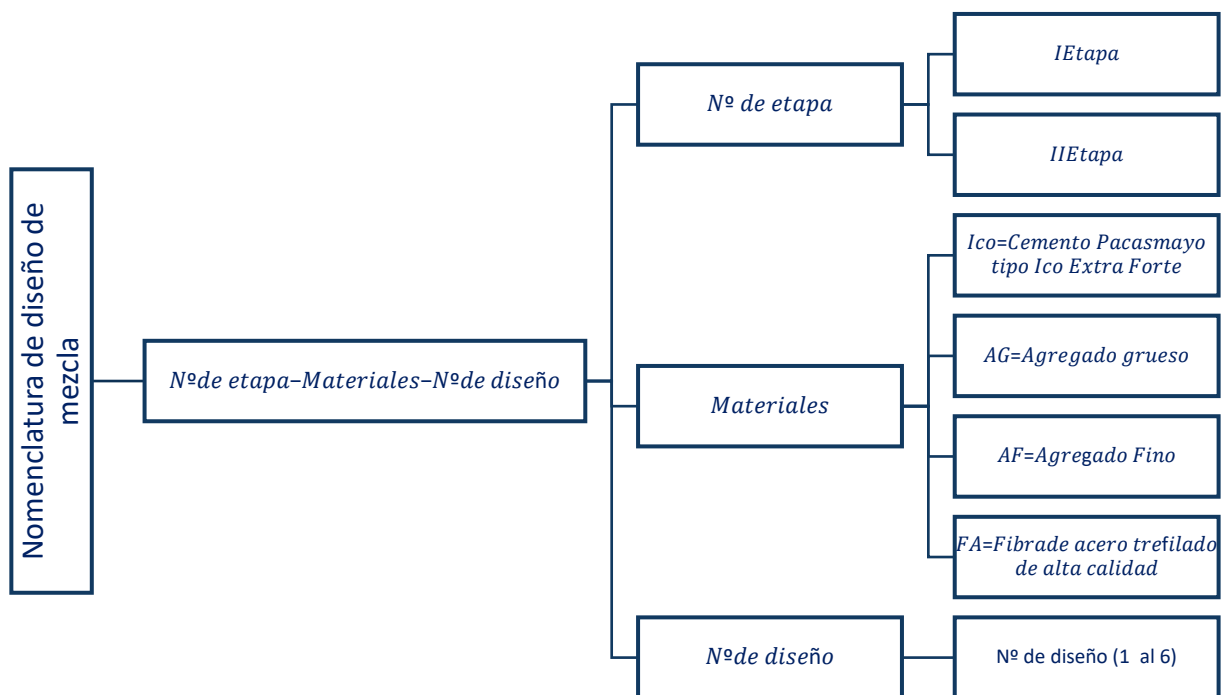
Diagrama de flujo de proceso de diseño de concreto permeable



Existiendo muchos factores para poder definir el diseño de mezcla se ha procedido a elaborar diversos diseños de mezcla, con el objetivo de encontrar un diseño de mezcla que cumpla con las características de un concreto permeable y que también pueda ser utilizado en un pavimento rígido siendo ahí el reto de la presente investigación. Es por ello por lo que se definió una nomenclatura para poder identificar las muestras, estableciéndose la ilustrada en la figura 25, donde los diseños de mezcla se resumen en la estructura: número de etapa, materiales utilizados y número de diseño.

**Figura 25**

*Nomenclatura para identificación de muestras de concreto permeable*



En los diseños de mezcla elaborados en la I etapa, tal como sugiere el método ACI respecto a que no existen parámetros demasiado precisos puesto que dicho concreto permeable aún se encuentra en investigación, se elaboraron diseños de mezcla variando las relaciones de agua – cemento, porcentaje de vacíos y porcentaje de agregado fino. Se procedió a medir las propiedades de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión expresado en su módulo de rotura y la permeabilidad a los 28 días, seleccionándose preliminarmente 06 diseños de mezcla teniendo en consideración la permeabilidad mínima de 0.2 cm/seg y el módulo de rotura mínima de 34 kg/cm<sup>2</sup>. De entre estos 6 se seleccionó la mezcla patrón identificada con el código I-Ico-AG-AF-3.

### 3.5 Diseño de mezcla de concreto permeable – II etapa.

Esta etapa se centró en analizar el impacto de incorporar fibras de acero de alta calidad en las características del concreto permeable, constituyendo el núcleo de esta investigación.

A la mezcla de referencia seleccionada (Identificada como I-Ico-AG-AF-3), se le añadió fibra de acero de alta calidad (FA) en cantidades de 25 kg/m<sup>3</sup>, 35 kg/m<sup>3</sup> y 45 kg/m<sup>3</sup>. Esta adición se realizó conforme a las recomendaciones de uso establecidas en la hoja técnica del producto (rango de 10 a 45 kg por metro cúbico).

Seguidamente, se efectuaron mediciones de las capacidades de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión (evaluada a través del módulo de rotura) y la permeabilidad a los 28 días de curado. Los resultados y análisis correspondientes se presentan en el Capítulo 4.



### 3.6 Especímenes para ensayos mecánicos.

#### 3.6.1 Dimensiones de especímenes

Las dimensiones de las muestras para las pruebas mecánicas se establecieron siguiendo las directrices de los estándares ACI 211.3R-02 y ACI 522R-10, definiéndose de la manera siguiente:

Para las pruebas de resistencia a la compresión, se usaron muestras cilíndricas de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura, como se detalla en la figura 26.

Para determinar la resistencia a la flexión, medida por el módulo de rotura, se emplearon muestras prismáticas de 150 mm de ancho, 150 mm de altura y 500 mm de longitud, como se visualiza en la figura 27.

En los ensayos de permeabilidad, se optó por muestras cilíndricas de 95 mm de diámetro y 150 mm de altura, ilustradas en la figura 28..

#### Figura 26

*Espécimen o probeta cilíndrica de diámetro 150 mm y altura 300 mm*



**Figura 27**

*Probeta prismática de ancho 150 mm, alto 150 mm y largo de 500 mm*

**Figura 28**

*Especimen o probeta cilíndrica de diámetro 95 mm y altura 150 mm*



### 3.6.2 Equipos y aparatos para elaboración de especímenes

Con el fin de cumplir con los distintos propósitos de medición de los especímenes de concreto permeable en función de sus propiedades mecánicas, se optó por utilizar moldes fabricados en tres materiales diferentes. Esto se puede apreciar claramente en la figura 29: para los especímenes sometidos a ensayos de compresión, se emplearon moldes cilíndricos metálicos con un diámetro de 150 mm y una altura de 300 mm. Por otro lado, para los especímenes sujetos a pruebas de flexión, se utilizaron moldes de madera tornillo que contaban con dimensiones internas netas de 150 mm de ancho, 150 mm de alto y 500 mm de largo. En cuanto a los especímenes destinados a medir la propiedad de permeabilidad, se emplearon moldes de tubo PVC clase 10, cuyas medidas internas eran de 95 mm de diámetro y una altura de 150 mm.

**Figura 29**

*Moldes para ensayos mecánicos de concreto permeable*



En la Figura 30 se muestran los diferentes equipos utilizados en el proceso de elaboración de la mezcla de concreto permeable, así como su colocación en los moldes previamente especificados. Entre estos elementos, es importante destacar la presencia de una balanza para medir con precisión cada uno de los materiales y sus proporciones

correspondientes según lo establecido en el diseño. Además, se empleó una mezcladora que tiene una capacidad total de 9 pies cúbicos junto a herramientas como palas, baldes y espátulas para realizar adecuadamente la mezcla de los distintos materiales que componen la mezcla. El martillo Proctor estándar de 5 libras fue un componente crucial en este proceso, ya que desempeñó una función esencial en la compactación de la mezcla. Los detalles sobre esta etapa se presentan en las siguientes líneas de esta investigación.



Figura 30

*Equipos y aparatos para elaboración de especímenes de concreto permeable*



### **3.6.3 Procedimiento de elaboración de los especímenes de concreto permeable:**

El proceso de elaboración de las muestras se ajustó a las pautas establecidas por ACI 211.3R-02 y ACI 522R-10. En cuanto al diseño de la mezcla de concreto, se hicieron uso de los materiales y equipos previamente señalados, destacando la inclusión de una mezcladora de 9 pies cúbicos, como se detalla en la Figura 31. Antes de su utilización, la mezcladora fue rigurosamente limpiada y secada en su interior, con el objetivo de evitar la incorporación no deseada de agua en la mezcla.

**Figura 31**

*Mezcladora de 9 pies cúbicos*



No existe una norma precisa que indique el orden de colocación de los materiales para el mezclado. Sin embargo, numerosos antecedentes, como Pérez Tirado, AJ (2016), aconsejan el siguiente procedimiento: se agrega una cantidad determinada de agua, seguida del agregado fino; luego se agrega el agregado grueso y finalmente se incorpora el cemento junto con la cantidad restante del agua. El objetivo es lograr una mezcla uniforme. En el caso de mezclas que incorporan fibras de acero, se mezcló previamente el agua con las fibras, como se muestra en la Figura 32, y se siguió el mismo procedimiento. Cabe mencionar que las fibras vienen en pequeños paquetes unidos, lo que puede dar la impresión de que están pegadas.

No obstante, no es necesario separarlas manualmente, ya que se desagruparán durante el proceso de mezclado.

### Figura 32

*Incorporación de fibras a la mezcla*



El tiempo de mezclado para las mezclas sin fibras fue aproximadamente de 2,5 minutos, mientras que, para las mezclas con la incorporación de fibras, el tiempo se amplió a 3 o 4 minutos. Esto se debe a que los paquetes de fibras deben desagruparse durante el proceso.

Una vez completada la mezcla, procedimos al llenado de los moldes correspondientes a cada tipo de ensayo, tal como se muestra en las Figuras 33 y 34. Los moldes deben estar ubicados sobre una superficie horizontal nivelada y fueron llenados en tres capas iguales. Para lograr una compactación adecuada, se aplicaron 20 golpes con un martillo de Proctor estándar (5 libras), distribuidos uniformemente por toda la superficie del concreto.

**Figura 33**

*Llenado del molde metálico cilíndrico, para ensayo a esfuerzo de compresión*

**Figura 34**

*Llenado del molde prismático de madera tornillo para flexión*



Luego, después de completar el llenado de la mezcla en los diferentes moldes, se procedió a realizar la identificación de los especímenes tal como se muestra en la Figura 35.

**Figura 35**

*Identificación de los especímenes y extracción de los moldes*



Finalmente, después de 24 horas de haber fabricado los especímenes de concreto permeable, se retiraron los moldes, marcando así el inicio del proceso de curado. Este proceso fue llevado a cabo siguiendo estrictamente las directrices establecidas por la norma ASTM C192 / NTP339183. Es importante destacar que estas directrices fueron aplicadas tanto en la fase inicial, correspondiente a la primera etapa, como en la segunda etapa del estudio. La Figura 36 muestra el procedimiento de curado utilizado en los especímenes de concreto permeable en la primera etapa. Por otro lado, la Figura 37 describe el proceso de curado de los especímenes correspondientes a la segunda etapa, donde se añadieron fibras de acero de alta calidad.

**Figura 36**  
*Curado estándar del concreto Permeable – I Etapa*



**Figura 37**  
*Curado estándar del concreto Permeable – II Etapa*



### 3.7 Ensayos mecánicos de especímenes: compresión y flexión.

En esta sección, se describe el enfoque experimental utilizado para evaluar las características mecánicas de las muestras de concreto permeable desarrolladas en el contexto de este estudio. Los análisis mecánicos desempeñan un papel esencial en la determinación del comportamiento y la resistencia de las mezclas de concreto permeable modificadas con fibras de acero trefilado de alta calidad. Estos procedimientos experimentales permiten examinar cómo las fibras influyen en las propiedades mecánicas del concreto permeable, proporcionando información valiosa para mejorar su diseño y comprensión.

Durante la primera etapa de la investigación, se llevaron a cabo pruebas de compresión en muestras cilíndricas de concreto permeable. La Figura 38 muestra la configuración experimental de esta prueba, en la cual las muestras se sometieron a cargas axiales hasta su ruptura. Los resultados obtenidos fueron determinantes para seleccionar la mezcla de concreto permeable óptima, que sirvió como base de diseño.

#### **Figura 38**

*Ensayo a compresión de especímenes cilíndricos – I Etapa*



En la segunda etapa, se añadieron distintas cantidades de fibras de acero trefilado de alta calidad a la mezcla base de diseño. Las muestras cilíndricas con la incorporación de fibras también se sometieron a pruebas de compresión. La Figura 39 presenta la disposición experimental y la Figura 40 ilustra los tipos de fracturas observadas en las muestras después de aplicar las cargas de compresión.

**Figura 39**

*Ensayo de compresión del espécimen cilíndrico de la M3-03 – II Etapa*

**Figura 40**

*Fallas típicas de especímenes cilíndricos – II Etapa*



En cuanto a la resistencia a la flexión, se realizaron pruebas de flexión en las muestras prismáticas producidas en la primera etapa. La Figura 41 muestra el procedimiento experimental, en el cual las vigas se expusieron a cargas en los puntos de apoyo y carga. Estas pruebas proporcionaron información esencial sobre la capacidad de carga y el comportamiento en flexión del concreto permeable.

**Figura 41***Ensayo a flexión de vigas prismáticas – I Etapa*

En la segunda etapa, como ya se mencionó, se introdujeron fibras de acero trefilado de alta calidad en las mezclas de concreto permeable. Las vigas prismáticas con fibras incorporadas también se sometieron a pruebas de flexo-compresión utilizando una prensa. La Figura 42 describe la configuración experimental, mientras que la Figura 43 exhibe una típica fractura observada en las vigas prismáticas. La Figura 44 ejemplifica una fractura en una viga prismática con fibras incorporadas.

**Figura 42**

*Ensayo de vigas prismáticas de la muestra V2-02– II Etapa*

**Figura 43**

*Falla típica en la parte central de las vigas prismáticas – II Etapa*



**Figura 44**

*Fractura de viga prismática – II Etapa*



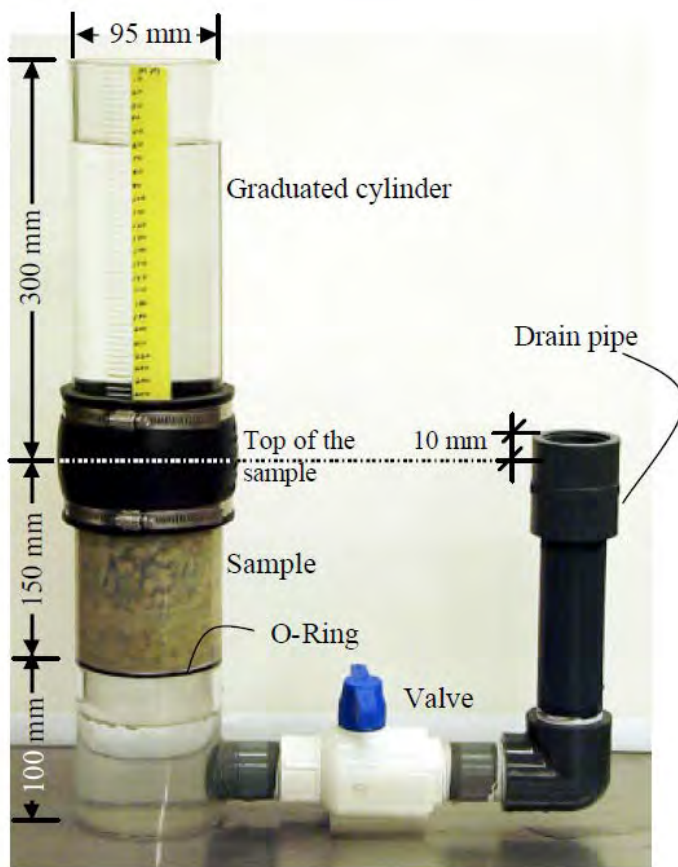
En resumen, las pruebas mecánicas realizadas en las diferentes etapas de este estudio proporcionaron resultados que contribuyen a la comprensión de cómo las fibras de acero trefilado de alta calidad afectan las propiedades mecánicas del concreto permeable. Estos resultados se presentan y discuten en el siguiente capítulo de análisis y discusión de los resultados. Además, es relevante destacar que todas estas pruebas se llevaron a cabo en laboratorios acreditados, respaldadas por los respectivos certificados de calibración de los

### 3.8 Ensayo de permeabilidad de especímenes: permeámetro de carga variable

Se pueden encontrar diversos métodos, procedimientos y dispositivos para medir la permeabilidad. Sin embargo, cuando se trate de concreto permeable, el aparato más adecuado es el permeámetro de carga variable. Se recomienda especialmente un modelo propuesto por el profesor Narayanan Neithalath en 2003 que ha sido mencionado en ACI 522 R-10. Se puede observar este modelo específico del permeámetro en la figura 45.

**Figura 45**

*Permeámetro de carga variable*



*Nota.* Figure 4.4 Test Set up to measure hydraulic conductivity (Neithalath et al., 2003, 59 a 61)

### 3.8.1 Proceso constructivo del permeámetro de carga variable

En relación con lo antes mencionado, en la presente investigación, se ha procedido a construir un permeámetro de carga variable, siguiendo el modelo antes mencionado. Para ello, se han utilizado diversos materiales para la estructura del permeámetro y la impermeabilización del espécimen de concreto permeable, que pueden visualizarse en la tabla 18.

**Tabla 18**

*Materiales para fabricación de permeámetro de carga variable*

ITEM	MATERIALES
<b>A.</b>	<b>MATERIALES PARA COMPONENTES PRINCIPALES DE ESTRUCTURA DE PERMEAMETRO DE CARGA VARIABLE</b>
1	Cilindro Acrílico Graduado de 95 mm de diámetro interior
2	Tubo PVC Clase 10- 4" (Fijación de Probeta)
3	Material Impermeable (látex de globos comerciales)
4	Muestra: Probeta de Concreto Permeable
5	Tubo PVC Clase 10- 4" (Fijación de Probeta)
6	Reductor PVC
7	Tubería de Drenaje PVC Clase 10 - 3/4"
8	Válvula de Control DE 3/4"
9	Tubería de Drenaje PVC Clase 10 - 3/4"
10	Codo PVC Clase 10 - 3/4" x 90°
11	Tubería de drenaje PVC Clase 10 - 3/4"
12	Adaptador PVC Clase 10 - 3/4"
13	Estructura metálica de Soporte
<b>B.</b>	<b>MATERIALES PARA IMPERMEABILIZAR LA MUESTRA DE CONCRETO PERMEABLE</b>
	Silicona Translucida DE 1.5 mm Dureza 55 Shore A
<b>C.</b>	<b>MATERIALES COMPLEMENTARIOS</b>
	Cinta teflón
	Herramientas manuales: sierra, tijeras, wincha.

El proceso constructivo del permeámetro de carga variable ha sido un reto en la presente investigación, puesto que no existe bibliografía detallada sobre cómo realizar su construcción. En la Figura 46 se pueden apreciar los materiales y parte del proceso constructivo del permeámetro de carga variable.

#### Figura 46

*Proceso constructivo de permeámetro de carga variable*



El permeámetro de carga variable está constituido principalmente por tubos ensamblados. La estructura principal incluye un tubo acrílico graduado de 95 mm de diámetro interno, que se acopla a una estructura de tubería de PVC de 4 pulgadas que funciona como base. Este tubo acrílico, un material especializado que debe ser adquirido a pedido, fue comprado y adaptado a nuestros requerimientos por la empresa proveedora en la ciudad Lima. Para la graduación, se adhirió una cinta métrica usando un adhesivo especial, como se muestra en la figura 47.

**Figura 47** Tubo acrílico graduado de permeámetro de carga variable



La muestra de concreto permeable se ubica dentro de una estructura formada por un tubo de PVC de 4 pulgadas que actúa como base. Es fundamental destacar que la unión entre el tubo acrílico y la mencionada base de PVC debe ser diseñada de manera móvil. Esto permite una versatilidad en la experimentación, ya que facilita la colocación y el ensayo de diversas muestras de concreto permeable.

En lo que respecta a la base, hay un requisito específico de aislar la muestra del soporte de la estructura metálica por un margen de 10 cm. Para lograr este aislamiento, es necesario incorporar pliegues adicionales de tubo en la parte interior de la estructura. La función de estos pliegues es evitar que la muestra descienda dentro de la estructura, asegurando una suspensión adecuada durante el proceso de ensayo. La implementación y función de estos pliegues se pueden apreciar en detalle en la figura 48.

**Figura 48**

*Base para alojamiento de muestra de concreto permeable*

Pliegue de tubo  
PVC Clase 10 de  
4" para  
suspender la  
muestra de  
concreto  
permeable



La estructura base se conecta a un tubo de 3/4 de pulgada de diámetro, incluyendo una válvula de control. Esta sección forma la estructura de drenaje y se coloca sobre una base metálica nivelada.

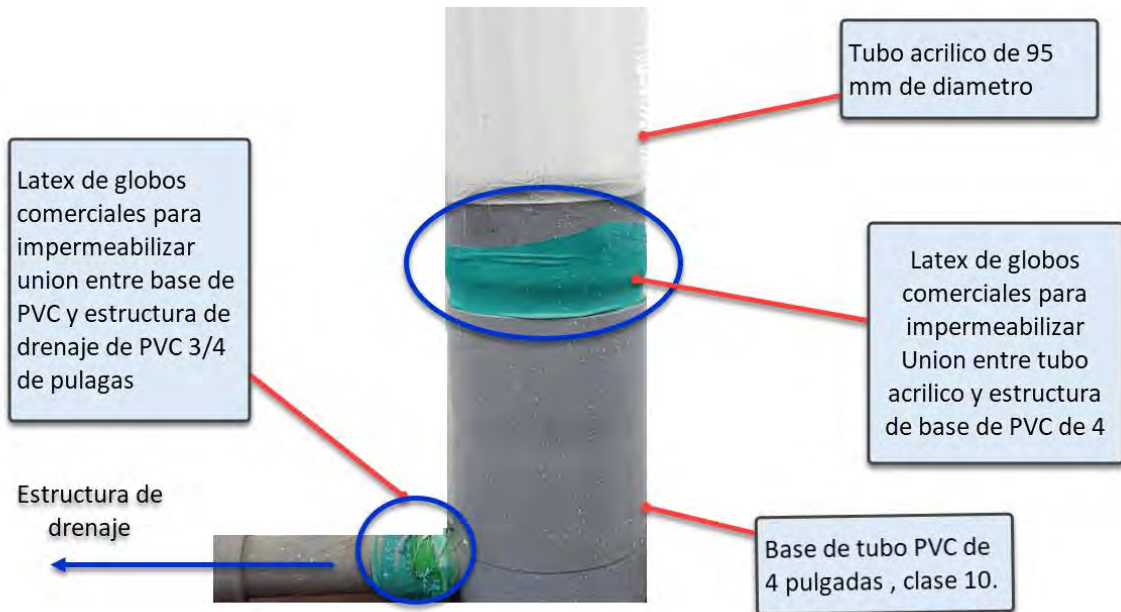
El aspecto más desafiante de la construcción del permeámetro de carga variable radicó en la selección de un material adecuado que previniera las fugas de agua en las uniones críticas. Específicamente, se necesitaba asegurar una unión hermética tanto entre el tubo acrílico y la estructura de PVC de 4 pulgadas, que actúa como base, como entre esta última y la estructura de drenaje con diámetro de 3/4".

Durante la fase de desarrollo, se experimentó con una variedad de materiales, incluyendo caucho de neumático, cinta de teflón, plástico translúcido y bolsas de embalaje. Sin embargo, ninguno de estos materiales resultó eficaz en la prevención de fugas de agua durante los ensayos realizados.

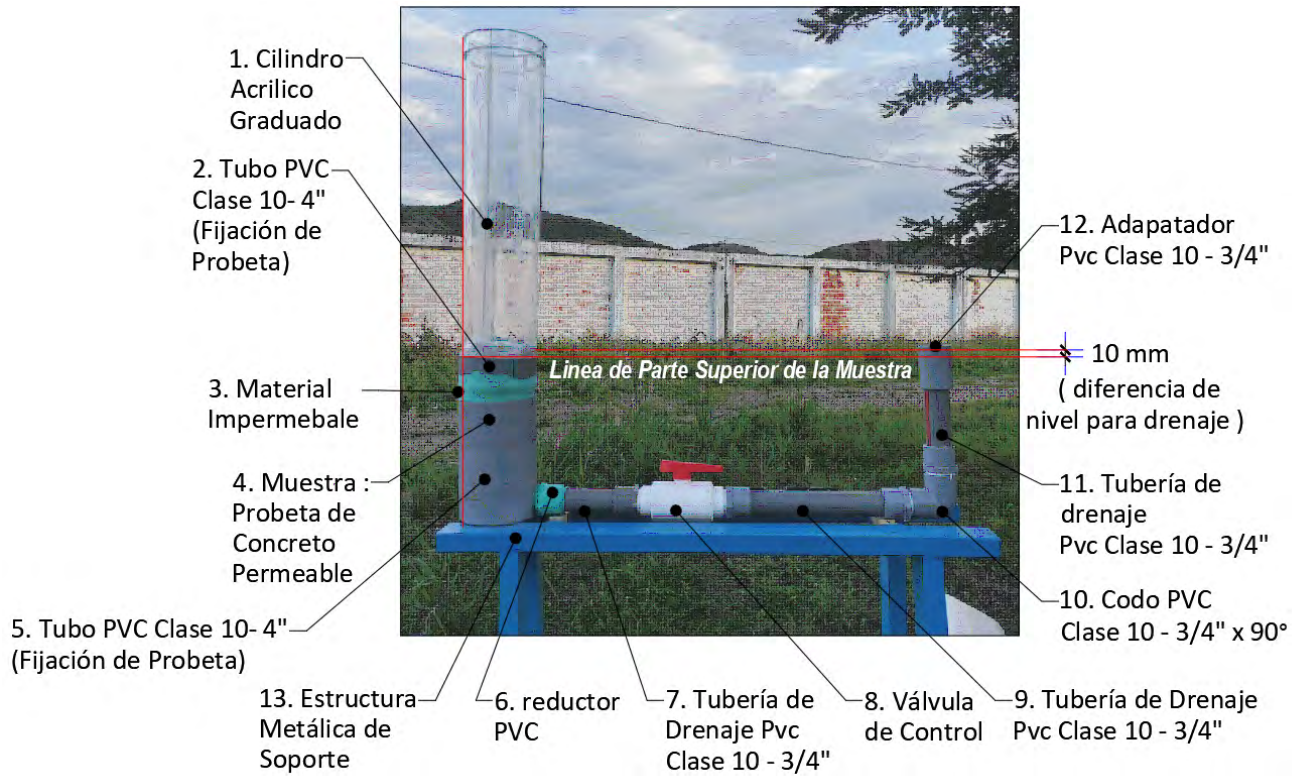
En este contexto, se hizo necesario encontrar un material delgado y flexible que pudiera integrarse fácilmente a la estructura del perímetro de carga variable. La solución encontrada fue el látex, un material ampliamente utilizado en globos comerciales. Su implementación no solo lograba evitar eficientemente las fugas de agua, sino que también formaba parte esencial del perímetro. Además, su versatilidad permitía una articulación móvil entre el tubo acrílico y la base PVC, lo cual facilitaba los cambios de muestra a ensayar, tal como se puede apreciar en la figura 49.

**Figura 49**

*látex como material para impermeabilizar uniones de conexiones de tubos*



Finalmente, con todas las consideraciones antes descritas se definió la estructura del permeámetro de carga variable para la presente investigación, tal como se puede apreciar en la figura 50.

**Figura 50***Estructura de permeámetro de carga variable (elaboración propia)*

### 3.8.2 Procedimiento de medición de ensayo de permeabilidad

El procedimiento para llevar a cabo el ensayo de permeabilidad en concreto permeable mediante un permeámetro de carga variable se inició con la impermeabilización de la muestra de concreto. Este primer paso implicó forrar la muestra con una silicona translúcida de 1,5 mm de espesor; dicho material se muestra en la Figura 51. Tal como puede apreciarse en la imagen, la silicona translúcida es comercializada en rollos, por lo que tuvo que recortarse hasta obtener la cantidad y tamaño necesarios para forrar el espécimen. Una vez finalizado este proceso de forrado, el espécimen quedó completamente sellado, como puede apreciarse en la Figura 52.

**Figura 51**

*Silicona translúcida de 1.5mm para permeabilizar las probetas*



**Figura 52**

*Probeta de concreto permeable forrada con silicona translúcida*



A continuación, el espécimen se colocó en la estructura de soporte del tubo PVC, que sirvió como base del permeámetro. Esta etapa también incluyó unir la estructura de soporte y el tubo acrílico graduado, sellando la unión de estos tubos con material de látex de globos comerciales a fin evitar fugas de agua. Así mismo se verificó que la base de la estructura metálica del permeámetro se encuentre nivelada en ambas direcciones, para lo cual se usó un nivel de mano, tal como se observa en la figura 53.

**Figura 53**

*Nivelación del equipo Permeámetro de carga variable*



Posteriormente, luego de ensamblar el sistema y asegurar la válvula de control en su posición cerrada, procedimos a llenar el tubo graduado acrílico con agua siguiendo el proceso ilustrado en la Figura 54. Este procedimiento fue realizado para simular la carga de agua sobre la muestra de concreto permeable hasta alcanzar una altura de 290 mm, tal como se puede apreciar en la Figura 55.

**Figura 54**

*ensayo de permeabilidad con permeámetro de carga variable*



**Figura 55**

*Altura de carga superior del agua antes de abrir la válvula de compuerta*

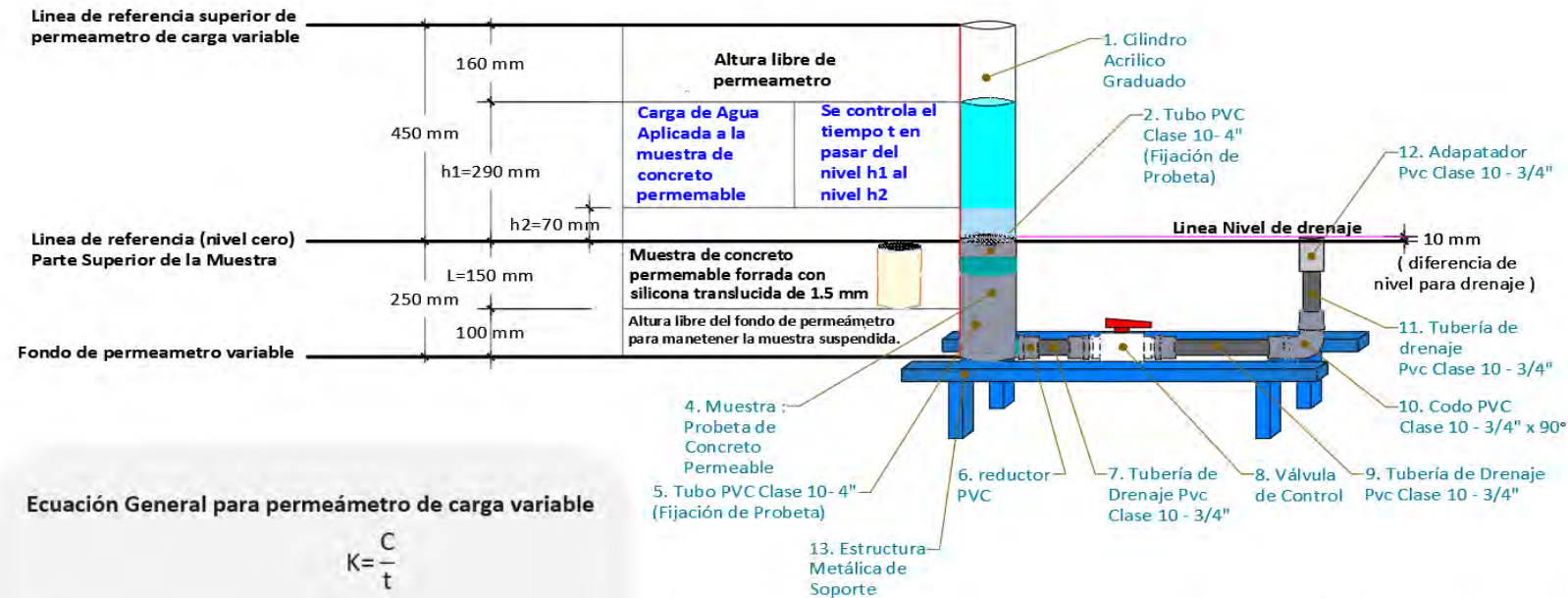


Acto seguido, con precisión y control se abrió la válvula y se inició la medición del tiempo que tardó el nivel de agua en descender desde los 290 mm iniciales hasta 70 mm sobre la muestra de concreto permeable. Este proceso es crucial para cuantificar la permeabilidad.

Tras completar esta fase, con los tiempos registrados en los que la carga de agua pasó de 290 mm a 70 mm sobre la probeta, se procedió a calcular la permeabilidad utilizando la fórmula descrita en la figura 56. Para el permeámetro específico elaborado en esta investigación, se determinó que la constante C depende de las características geométricas de los tubos del permeámetro y su valor es igual a 21.32 cm.

Figura 56

Ecuación de permeabilidad para el permeámetro de carga variable empleado.



Ecuación General para permeámetro de carga variable

$$K = \frac{C}{t}$$

donde:

K= Coeficiente de permeabilidad(cm/seg)

$$C = \text{Constante} = \frac{L \times a}{A} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$$

Siendo:

L= longitud de probeta de concreto permeable (L= 15 cm)

a=área de tubería cilindro acrílico graduado (diámetro=9.5 cm)

A= área de espécimen de concreto permeable (diámetro=9.5 cm)

h1= altura de carga de área antes de drenaje (29 cm)

h2= altura de carga de área antes de drenaje (7 cm)

Reemplazando  
valores de  
configuración  
geometrica



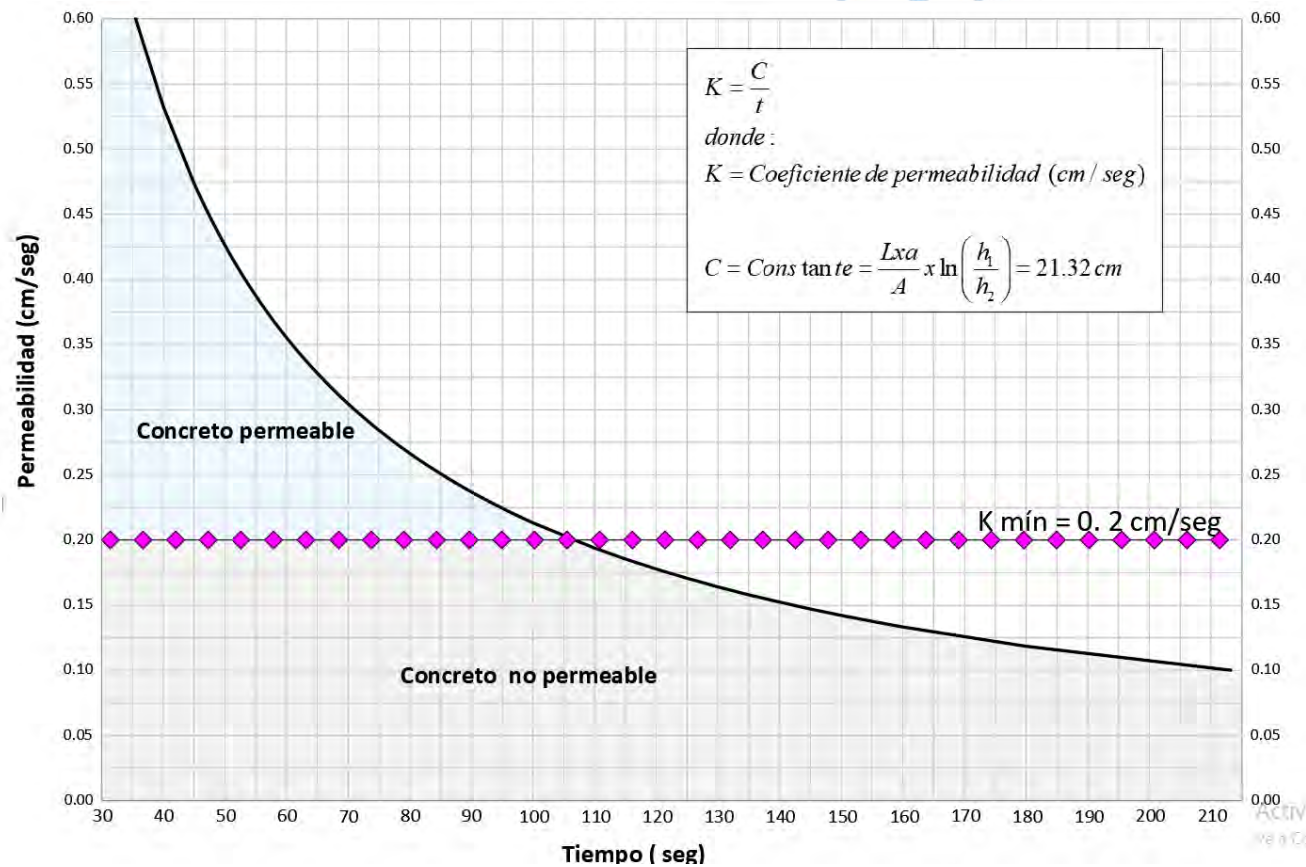
Ecuación de Permeabilidad  
para Permeámetro de  
carga variable investigado

$$K = \frac{21.32 \text{ cm}}{t \text{ (seg)}}$$

Finalmente, se trazó la curva de permeabilidad del permeámetro de carga variable, tal como se muestra en la Figura 54. En esta gráfica, se puede observar que a medida que se incrementó el tiempo medido en el ensayo, la permeabilidad disminuyó.

**Figura 57**

*Curva de permeabilidad del permeámetro de carga variable empleado.*



## **Capítulo 4**

### **Análisis y discusión de resultados**

La investigación actual tiene como objetivo principal explorar cómo las fibras de acero trefilado de alta calidad influyen en las propiedades del concreto permeable. El proceso metodológico se dividió en dos etapas, diseñadas para abordar el objetivo de manera sistemática.

Durante la primera etapa de investigación, se orientó el enfoque hacia el diseño y la caracterización de una muestra representativa de concreto permeable. Aunque el objetivo principal no era lograr una solución definitiva de diseño, el proceso se llevó a cabo con rigor técnico meticuloso. Esto implicó centrarse en un análisis realista con la utilización de agregados y materiales disponibles comercialmente en el ámbito de la construcción en Perú y específicamente en la ciudad de Jaén. El objetivo principal de la primera etapa de investigación fue desarrollar una mezcla de concreto permeable que no solo cumpliera con los estándares mecánicos para su empleo como pavimento rígido, sino que además mantuviera su carácter permeable. Esta estrategia llevó a la creación de una línea base sólida y realista definiendo una mezcla de concreto permeable denominada patrón base.

Una vez establecido el marco de referencia inicial, la segunda etapa del proceso metodológico de investigación consistió en agregar acero trefilado de alta calidad en tres proporciones diferentes a la muestra patrón seleccionada anteriormente. El objetivo principal de esta etapa fue analizar el impacto específico que estas adiciones tenían sobre las propiedades del concreto permeable, como su resistencia a la compresión, flexión y permeabilidad.

#### **4.1 Análisis de resultados – I Etapa**

Durante la primera etapa, se llevó a cabo un proceso metodológico para definir la muestra patrón base del diseño de concreto permeable. En primer lugar, se realizaron ensayos que determinaron las propiedades físicas de los agregados obtenidos en la cantera "Arenera Jaén". Estos resultados han sido fundamentales para formular diseños coherentes con las directrices impuestas por el Instituto Americano del Concreto (ACI) en cuanto al concreto permeable.

La variabilidad y complejidad propias del concreto permeable presentaron un desafío significativo en este estudio. La falta de parámetros definitivos y universalmente reconocidos para predecir el comportamiento del material impulsó un proceso de investigación y experimentación exhaustivo y metódico. Con la guía de la metodología del ACI (American Concrete Institute) y apoyándose en investigaciones previas, se elaboraron múltiples diseños de mezcla. Estos diseños dieron lugar a la fabricación de diversos especímenes, que fueron posteriormente evaluados mediante pruebas de resistencia a la compresión ( $f'_c$ ), resistencia

a la flexión ( $M_r$ ) y permeabilidad ( $k$ ), propiedades que constituyen las variables dependientes de la investigación.

Sin embargo, es crucial destacar que alcanzar el equilibrio perfecto entre las propiedades previamente mencionadas, las cuales son inherentemente opuestas, constituye un proceso prolongado, complejo y desafiante. Esta complejidad emerge de la interacción de numerosas variables que no constituyen el núcleo principal de esta investigación. En este contexto, sin descuidar los valores fundamentales de calidad, innovación y la aplicación constante del método de ensayo y error hemos perseverado en la búsqueda permanente del diseño ideal. El objetivo primordial ha sido desarrollar una mezcla permeable eficiente adaptada a las necesidades de construcción en Perú con especial atención en la ciudad de Jaén. Para alcanzar esta meta hemos adoptado una perspectiva realista sustentada en utilizar agregados y materiales disponibles en el mercado local.

La integración y análisis de los datos recolectados culminaron en la selección preliminar de seis diseños de mezcla, los cuales presentan características mecánicas aceptables para uso en pavimentos rígidos como en permeabilidad. Los detalles específicos de la dosificación de los diseños de concreto permeable seleccionados se presentan en la Tabla 19, mientras que los resultados de las evaluaciones de resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y permeabilidad se detallan en la Figura 58.

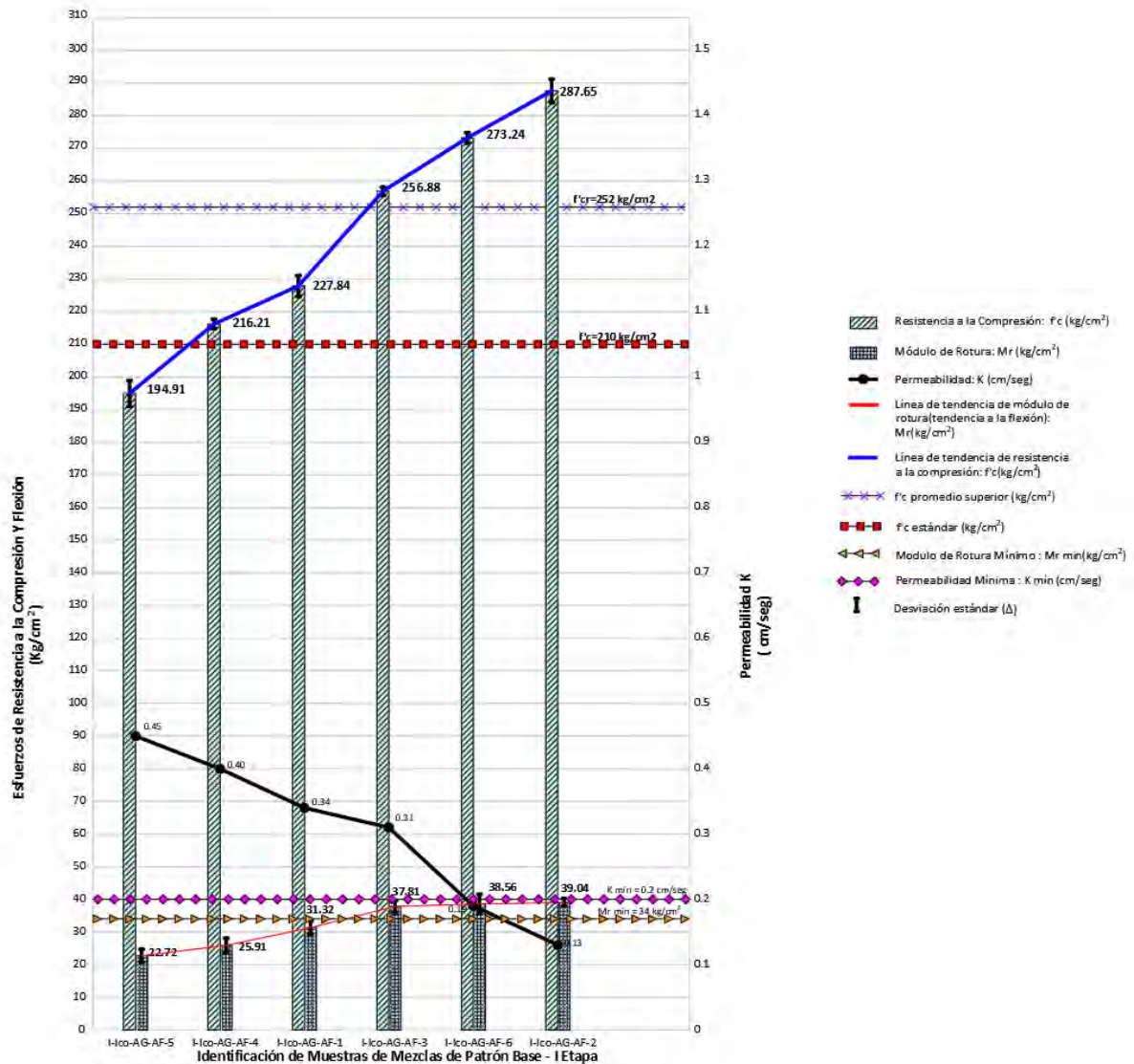
**Tabla 19**

*Dosificaciones de concreto permeable – I etapa*

Identificación de diseño de mezcla	Cemento kg/m <sup>3</sup>	A. Fino (kg/m <sup>3</sup> )	A. Grueso (kg/m <sup>3</sup> )	Agua (Lt)
I-Ico-AG-AF-5	346	195	1554	111
I-Ico-AG-AF-4	355	219	1556	110
I-Ico-AG-AF-1	357	228	1559	107
I-Ico-AG-AF-3	363	236	1563	105
I-Ico-AG-AF-6	369	254	1567	104
I-Ico-AG-AF-2	375	260	1570	102

Figura 58

Propiedades mecánicas y de permeabilidad de concreto permeable – I etapa



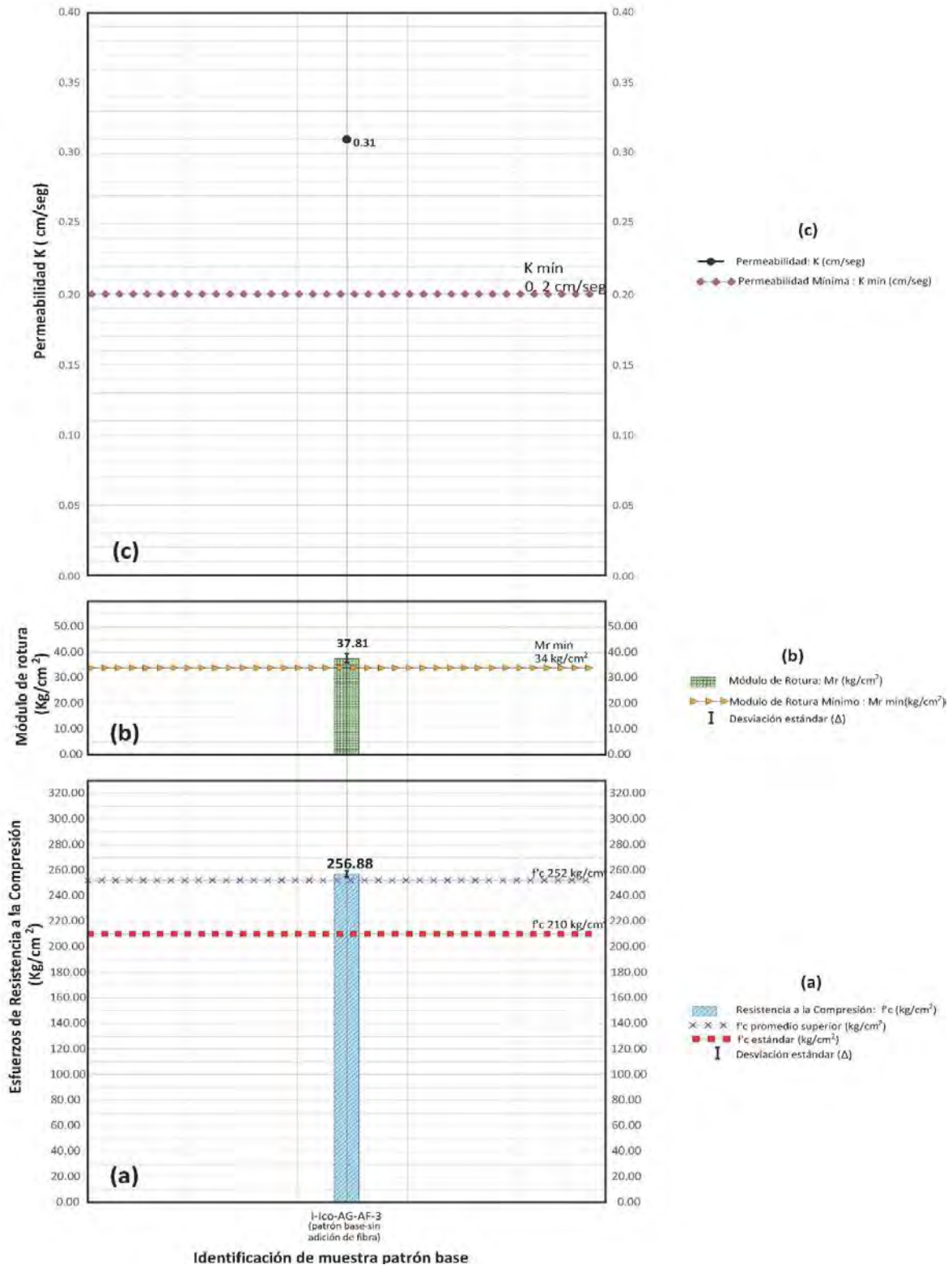
El siguiente proceso fue la selección de la muestra patrón base, considerando tres propiedades, la primera que la resistencia a la compresión debe ser superior a 210 kg/cm<sup>2</sup>, la segunda que el módulo de rotura mínimo debe ser superior a 34kg/cm<sup>2</sup>, conforme lo establece la norma técnica peruana CE.010 Pavimentos Urbanos y la tercera que la permeabilidad mínima debe ser de 0.2 cm/seg.

En relación a lo antes mencionado, se procedió a determinar las mezclas que cumplieran con los requerimientos mínimos, la Figura 59 muestra gráficamente los resultados de la muestra patrón base seleccionada I-Ico-AG-AF-3, en la cual, se ha representado tanto la resistencia a la compresión, con un valor de 256,88 kg/cm<sup>2</sup>, como la resistencia a la flexión, con un valor de 37,81 kg/cm<sup>2</sup>, y la permeabilidad registrada en 0,31 cm/seg. Junto a estos datos se han graficado los rangos mínimos necesarios para que un diseño de concreto sea permeable y al mismo tiempo adecuado para su empleo en pavimentos rígidos. La disposición

gráfica de estos resultados no solo contribuye a una comprensión más clara y precisa de las propiedades y aplicaciones potenciales del concreto permeable en el ámbito de ingeniería vial, sino que también sirve como línea base para la segunda etapa de investigación.

**Figura 59**

*Propiedades de la mezcla patrón seleccionada*



## 4.2 Análisis de resultados – II etapa.

La segunda etapa de la presente investigación ha consistido en agregar al diseño de mezcla seleccionado en la Etapa I (I -Ico-AG-AF-3), distintas cantidades de fibra de acero trefilado de alta calidad SIKA FIBER CHO 80/60 NB.

Las especificaciones técnicas de la fibra de acero trefilado de alta calidad SIKA FIBER CHO 80/60 NB, establece un rango mínimo de 10 kilogramos de fibra por cada metro cúbico de concreto y un rango máximo de 45 kg/ m<sup>3</sup> por cada metro cúbico de concreto. En base a ello, se definió las 03 cantidades de fibra a utilizar en los diseños de mezcla. El diseño de mezcla II-Ico-AG-AF-3-FA25, tuvo una incorporación de fibra de 25 kg /m<sup>3</sup>; el diseño II-Ico-AG-AF-3-FA35, tuvo una incorporación de fibra de 35 kg /m<sup>3</sup> y el diseño II-Ico-AG-AF-3-FA45, una incorporación de fibra de 45 kg /m<sup>3</sup>.

Cada muestra se preparó por triplicado para cada una de las propiedades medidas que fueron resistencia a la compresión, resistencia a la flexión a través del módulo de rotura y la permeabilidad.

### 4.2.1 Análisis de la resistencia a la compresión.

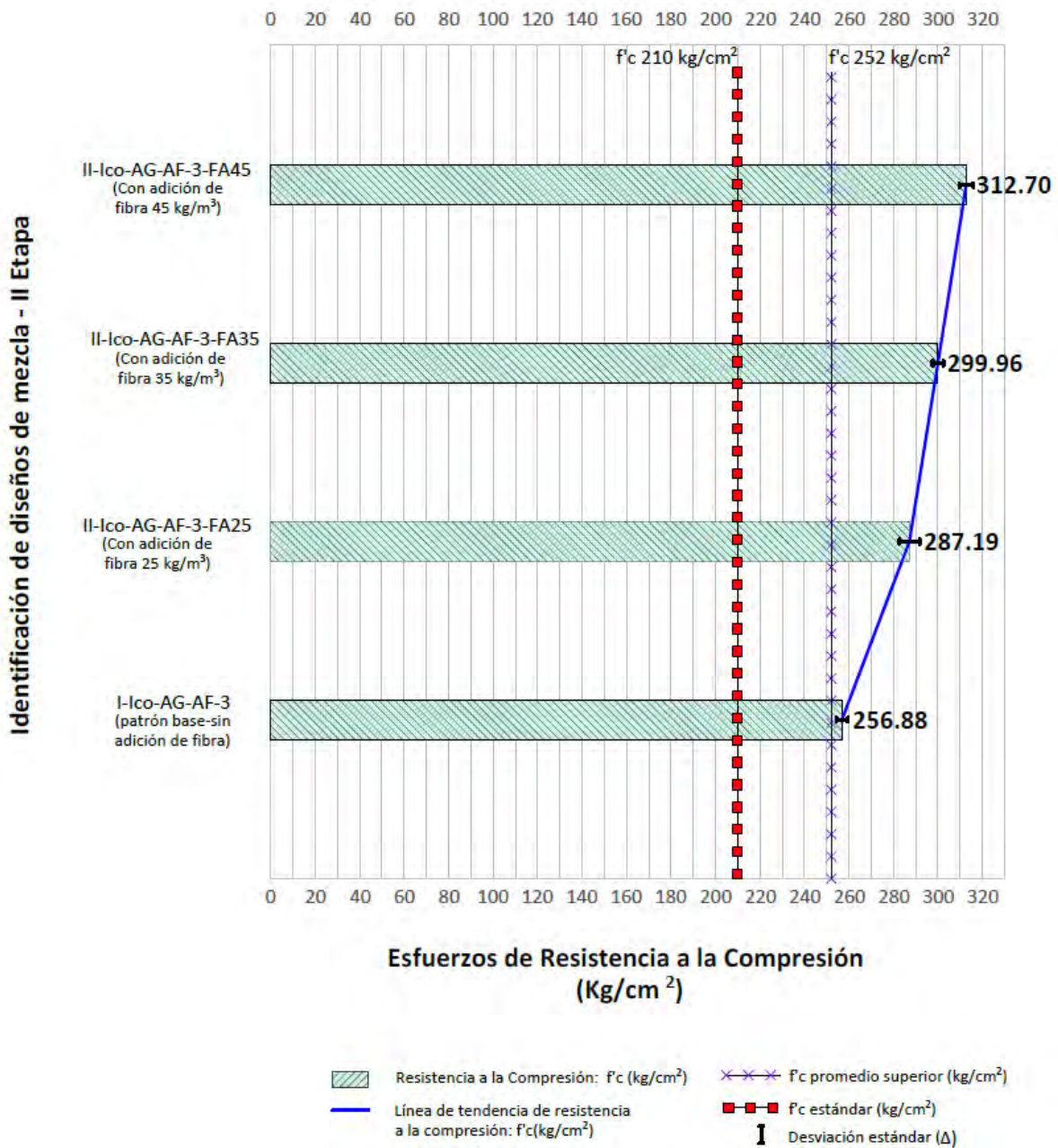
La muestra de referencia escogida para este análisis, denominada I-Ico-AG-AF-3, presenta una resistencia a la compresión de 256.88 kg/cm<sup>2</sup>. Este valor se estableció como patrón para comparar las variaciones que surgieron de la implementación de fibras de acero trefilado de alta calidad en el proceso de diseño de mezclas.

Se llevaron a cabo tres diseños experimentales distintos para evaluar el efecto de la incorporación de fibras en la resistencia a la compresión. En el diseño II-Ico-AG-AF-3-FA25, donde se incorporaron 25 kg/m<sup>3</sup> de fibras, la resistencia alcanzada fue de 287.19 kg/cm<sup>2</sup>, lo cual representa un aumento del 11.80% respecto a la muestra patrón. En el diseño II-Ico-AG-AF-3-FA35, con 35 kg/m<sup>3</sup> de fibras, se observó una resistencia de 299.96 kg/cm<sup>2</sup>, traduciéndose en un incremento del 16.77%. Por último, el diseño II-Ico-AG-AF-3-FA45, con una incorporación de 45 kg/m<sup>3</sup> de fibras, resultó en una resistencia a la compresión de 312.70 kg/cm<sup>2</sup>, mostrando un ascenso del 21.73%.

La Figura 60 proporciona un resumen visual de estos resultados. Además, ofrece una representación gráfica que facilita la interpretación de la relación entre la cantidad de fibras y la resistencia a la compresión. Para un análisis más detallado de las variaciones en la resistencia a los 28 días en comparación con la muestra patrón, se recomienda consultar el Apéndice E.

**Figura 60**

*Promedio de resistencia a la compresión 28 días – II etapa*



Es posible inferir, mediante una correlación claramente observada en los ensayos experimentales, que a medida que aumenta la proporción de fibras de acero trefilado en la mezcla de concreto, se incrementa su resistencia a la compresión. Esta relación directa se puede atribuir a la mejora en la ductilidad y capacidad de absorción de energía del material compuesto.

La incorporación de las fibras de acero conduce a una redistribución del esfuerzo a lo largo de la matriz de concreto, fortaleciendo la interacción entre las fibras y la matriz, y mejorando la capacidad del concreto para soportar cargas sin fracturarse. La ductilidad

incrementada permite al concreto deformarse de manera controlada sin perder capacidad de carga, lo cual se traduce en una mayor resistencia a la compresión.

La justificación de esta apreciación se basa en una serie de pruebas experimentales y análisis de datos que han sido conducidos bajo condiciones controladas, empleando metodologías estandarizadas en el campo de la ingeniería vial. La evidencia recogida respalda esta conclusión, ofreciendo una base sólida y cuantitativa para la afirmación de que la incorporación de fibras de acero trefilado de alta calidad mejora significativamente las propiedades del concreto permeable, y en particular su resistencia a la compresión, lo cual es crucial en la aplicación de pavimentos rígidos

Estos niveles de resistencia a la compresión obtenidas con la incorporación de la fibra de acero trefilado de alta calidad califican a los diseños para ser utilizados en pavimentos rígidos de alto flujo vehicular.

Respecto a la textura de los especímenes a ser ensayados a compresión, con incorporación de fibras de acero trefilado de alta calidad, se puede observar en la figura 60 (b) que estos, presentan una textura áspera, con una cantidad mínima de fibras sobresalidas, puesto que, durante el proceso de mezclado y colocación en moldes, las fibras adoptan distintas posiciones aleatorias observable en la figura 61 (c), a diferencia de los especímenes que no presentan adiciones de fibras, tal como se aprecia en la figura 61 (a).

En lo que respecta a la aplicación de la mezcla de concreto permeable con adición de fibras de acero trefilado de alta calidad a un pavimento rígido, es relevante considerar los potenciales efectos sobre la integridad de los neumáticos durante la etapa de funcionamiento. En relación a lo antes mencionado, la Figura 61 (b) y (c), donde se muestra la textura de los especímenes utilizados para evaluar la resistencia a la compresión del concreto permeable, es esencial para comprender el contexto. En dicha figura, se observa que la cantidad de fibras que sobresalen de la superficie de los especímenes es mínima, lo que indica que las fibras están distribuidas uniformemente y no generan una protuberancia significativa en la superficie del concreto. Estas características minimizan el riesgo de daño en los neumáticos, como pinchazos, y garantizan que la incorporación de dichas fibras no constituye una amenaza. Las fibras son notablemente flexibles cuando son sometidas a presión, exhibiendo un diámetro uniforme de 0.75 mm. Esta flexibilidad, junto con el diámetro reducido y las propiedades mecánicas de las fibras, garantiza que su presencia en la mezcla no compromete la funcionalidad ni la durabilidad del pavimento, calificándolas como una opción viable y segura en la aplicación de pavimentos rígidos

**Figura 61**

*Textura de especímenes para resistencia a la compresión– II etapa*



*Nota.* Elaboración de concreto permeable.

#### **4.2.2 Análisis de resistencia a la flexión - Módulo de rotura**

En el contexto de pavimentos rígidos, la resistencia mecánica a la compresión desempeña un rol fundamental, pero la resistencia a la flexión, cuantificada por medio del módulo de rotura, es aún más relevante debido a su directa correlación con la capacidad del pavimento para resistir cargas aplicadas en su superficie sin fracturarse. Esta mayor relevancia se encuentra respaldada por el hecho de que el pavimento rígido, durante su vida útil, está expuesto a fuerzas de flexión constantes provenientes del tráfico vehicular.

La muestra patrón base, utilizada como referencia, presenta un módulo de rotura de 37.81 kg/cm<sup>2</sup>. En la experimentación con diferentes mezclas, se observaron variaciones en el módulo de rotura dependiendo de la cantidad de fibra incorporada. En la mezcla II-Ico-AG-AF-3-FA25, que incorpora una densidad de 25 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero trefilado de alta calidad, se determinó un módulo de rotura de 48.91 kg/cm<sup>2</sup>, lo que se traduce en un incremento del 29.36% con respecto a la muestra patrón base.

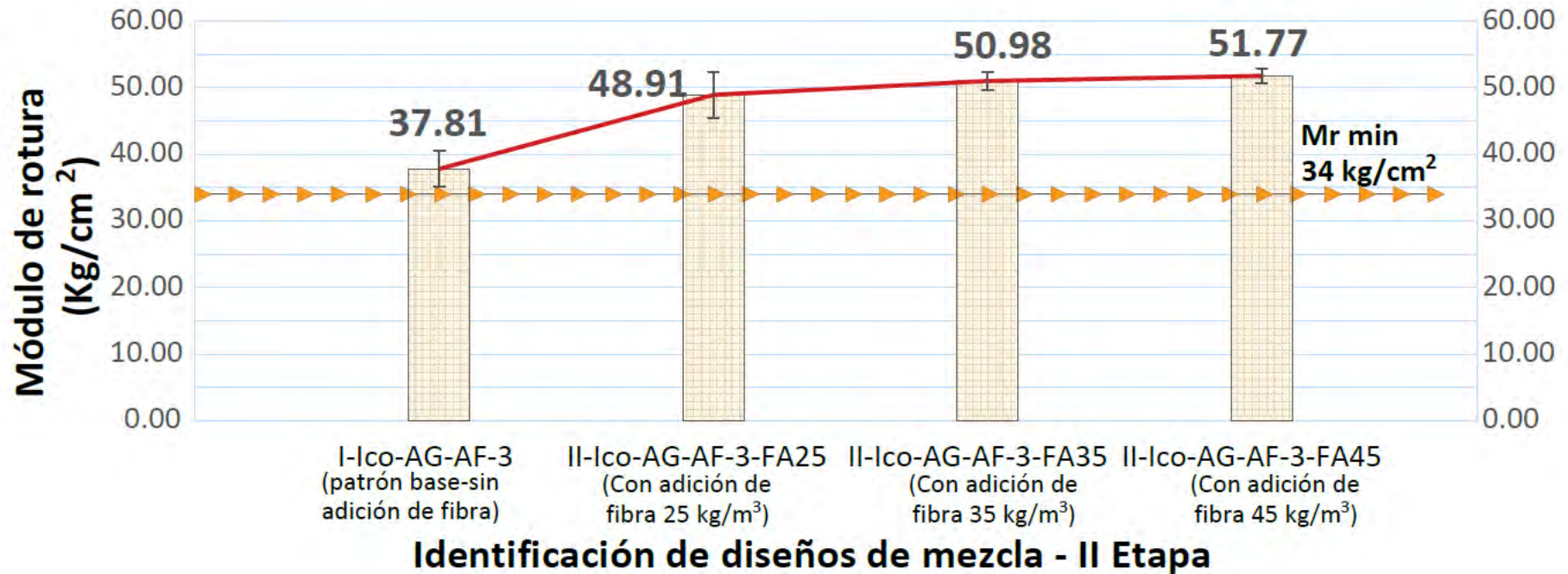
En cuanto a la mezcla II-Ico-AG-AF-3-FA35, en la que se utilizó una cantidad de fibra de 35 kg/m<sup>3</sup>, se observó un ascenso en el módulo de rotura hasta 50.98 kg/cm<sup>2</sup>. Esta variación refleja un aumento del 34.82%, proporcionando evidencia de una mejora significativa en la resistencia a la rotura.


Finalmente, en la mezcla II-Ico-AG-AF-3-FA45, con una incorporación de fibra de 45 kg/m<sup>3</sup>, el módulo de rotura alcanzó 51.77 kg/cm<sup>2</sup>, lo que se traduce en un incremento del 36.93% en comparación con la muestra patrón.


La Figura 62 ofrece un resumen de estos resultados. Además, proporciona una representación gráfica que facilita la interpretación visual de la correlación entre la cantidad de fibras y la resistencia a flexión expresada en el módulo de rotura. Para un análisis más detallado de las variaciones en la resistencia a los 28 días en comparación con la muestra patrón, se recomienda consultar el Apéndice F.


Figura 62


Promedio de resultados de ensayo a flexión a la edad de 28 días – II etapa



 Módulo de Rotura  
 $M_r$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

 Módulo de Rotura Mínimo  
 $M_r \text{ min}$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

 Desviación estándar ( $\Delta$ )

 Línea de tendencia de  
Módulo de Rotura  
 $M_r$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

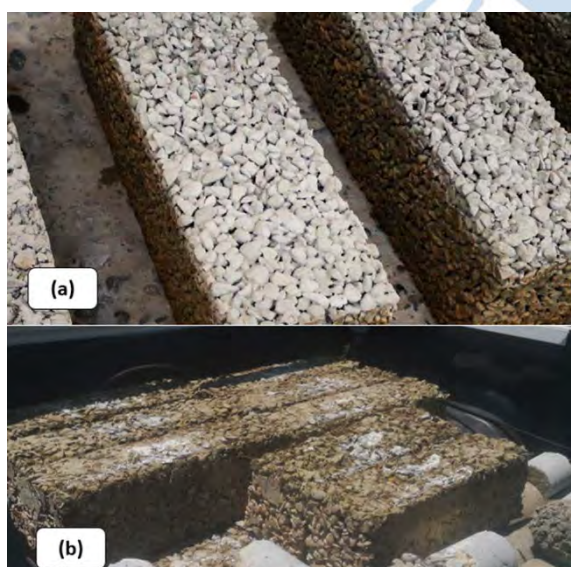
Este fenómeno se puede interpretar a través de la interacción entre las fibras y la matriz del concreto. Las fibras de acero trefilado de alta calidad mejoran la ductilidad y la capacidad de absorción de energía del concreto, fortaleciendo la unión entre las partículas de agregado. Esta mejora se manifiesta en un incremento en el módulo de rotura hasta una dosificación específica de fibras, identificada en este estudio como  $35 \text{ kg/m}^3$ . Sin embargo, es importante reconocer que existe un límite en la cantidad de fibra que puede ser beneficiosa. Más allá de este punto, la adición de fibras adicionales ya no mejora de manera notable la resistencia a la flexión. Esto puede atribuirse a una saturación en la matriz del concreto, donde las fibras adicionales no se distribuyen uniformemente o empiezan a aglutinarse, obstaculizando en lugar de fortalecer la conexión entre las partículas de agregado.

En cuanto a la textura de los especímenes con fibras de acero trefilado de alta calidad, la figura 63 (b) revela una superficie áspera con una cantidad mínima de fibras prominentes. Durante el proceso de mezclado y colocación en moldes, las fibras adoptan posiciones aleatorias, en contraposición a los especímenes sin fibras, como se aprecia en la figura 63 (a), lo cual está en consonancia con los especímenes previamente analizados en cuanto a resistencia a la compresión.

En concordancia con lo descrito anteriormente, y enfatizando lo descrito en los especímenes de resistencia a la compresión respecto a su textura, las fibras no constituirían un peligro para la integridad de los neumáticos (tales como pinchazos) durante la etapa operativa. Estas fibras, al tener un diámetro de  $0.75 \text{ mm}$  y ser flexibles bajo presión, junto con la cantidad mínima de fibras que sobresalen del concreto permeable, garantizan que su presencia no amenace la seguridad o funcionalidad del pavimento.

### Figura 63

*Textura de especímenes para resistencia a la flexión – II etapa*



*Nota.* Elaboración de especímenes

### **4.2.3 Análisis de permeabilidad**

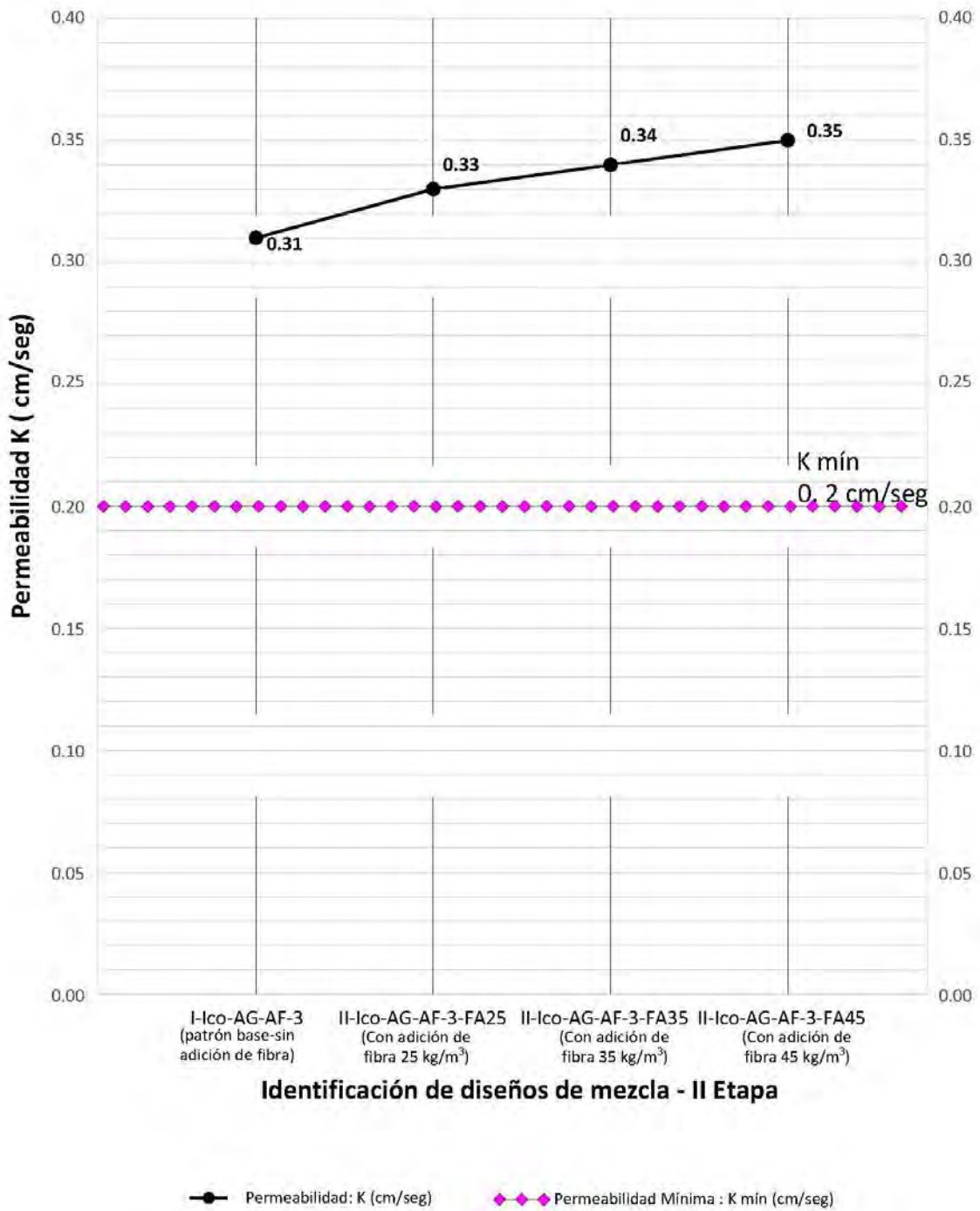
En relación con la permeabilidad, la muestra patrón base presenta una permeabilidad de 0.31 cm/seg. Cuando se incrementa la cantidad de fibra en la mezcla, la permeabilidad experimenta un aumento correlativo. En el diseño de mezcla II-Ico-AG-AF-3-FA25, que incorpora una cantidad de fibra de 25 kg/m<sup>3</sup>, la permeabilidad se eleva a 0.33 cm/seg, reflejando un incremento del 7.64 % respecto a la muestra patrón. Asimismo, en el diseño II-Ico-AG-AF-3-FA35, con 35 kg/m<sup>3</sup> de fibra, la permeabilidad alcanza los 0.34 cm/seg, lo que representa un incremento del 10.61 %. Finalmente, en el diseño II-Ico-AG-AF-3-FA45, con 45 kg/m<sup>3</sup> de fibra, la permeabilidad asciende a 0.35 cm/seg, evidenciando un aumento del 13.73 % en comparación con la muestra patrón.

La Figura 64 ofrece un resumen de estos resultados. Además, complementa esta información con una representación gráfica, permitiendo una interpretación visual más directa de la correlación entre la cantidad de fibras y la resistencia a flexión, expresada en el módulo de rotura. Para un análisis más detallado de las variaciones de la permeabilidad a los 28 días en comparación con la muestra patrón, se recomienda consultar el Apéndice G.



**Figura 64**

*Resultados de ensayo de la permeabilidad a la edad de 28 días – II etapa*

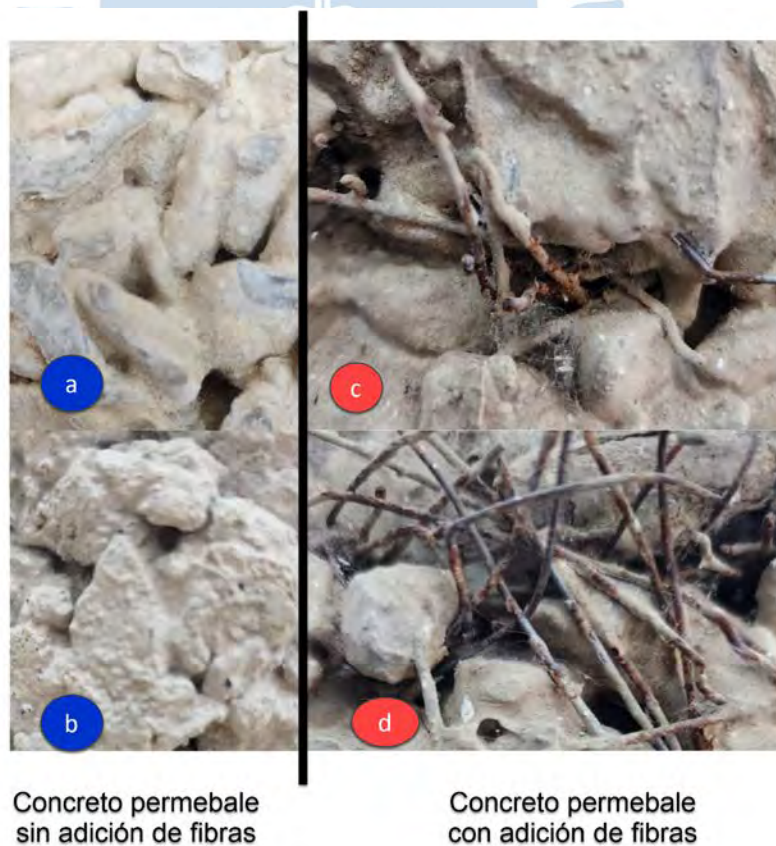


Por tanto, se puede inferir que a medida que aumenta la cantidad de fibra de acero en la mezcla se incrementa el espacio entre las partículas que constituyen la mezcla, generando espacios que incrementan de manera leve la permeabilidad. Aunque se puede hablar de un incremento de permeabilidad, este incremento no es realmente significativo para el material. Al parecer, las fibras ayudan a distribuir mejor la pasta alrededor de las partículas, de modo que no se asienten al fondo, que suele ser uno de los problemas de los concretos permeables. La pasta fluida, a falta de agregado fino, percola por entre los espacios vacíos de la grava, acumulándose en la parte inferior y formando una capa que "sella" la permeabilidad lograda entre las partículas.

Además, en lugar de obstruir el libre flujo del agua a través de estos espacios, las fibras, por el contrario, crean microespacios entre las partículas. Esto se ilustra de manera evidente en la figura 65, que incluye fotografías más representativas de concreto permeable. En las imágenes "a" y "b", observamos que los espacios entre las partículas se llenan con material cementante cuando no se añaden fibras. En cambio, en las imágenes "c" y "d", con la adición de fibras, estas no impiden el paso del agua, sino que crean una estructura que facilita un flujo más eficiente del líquido a través de la matriz del concreto, generando vacíos.

**Figura 65**

*Distribución espacial de vacíos en concreto permeable*

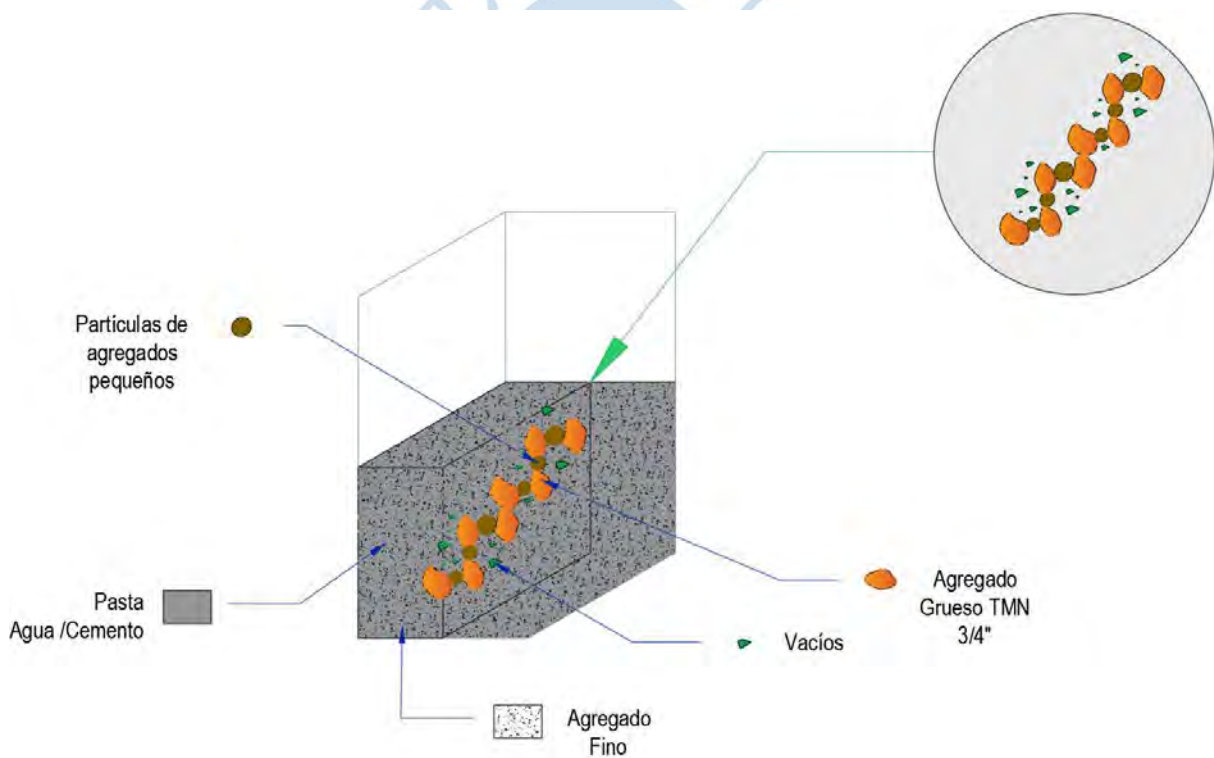


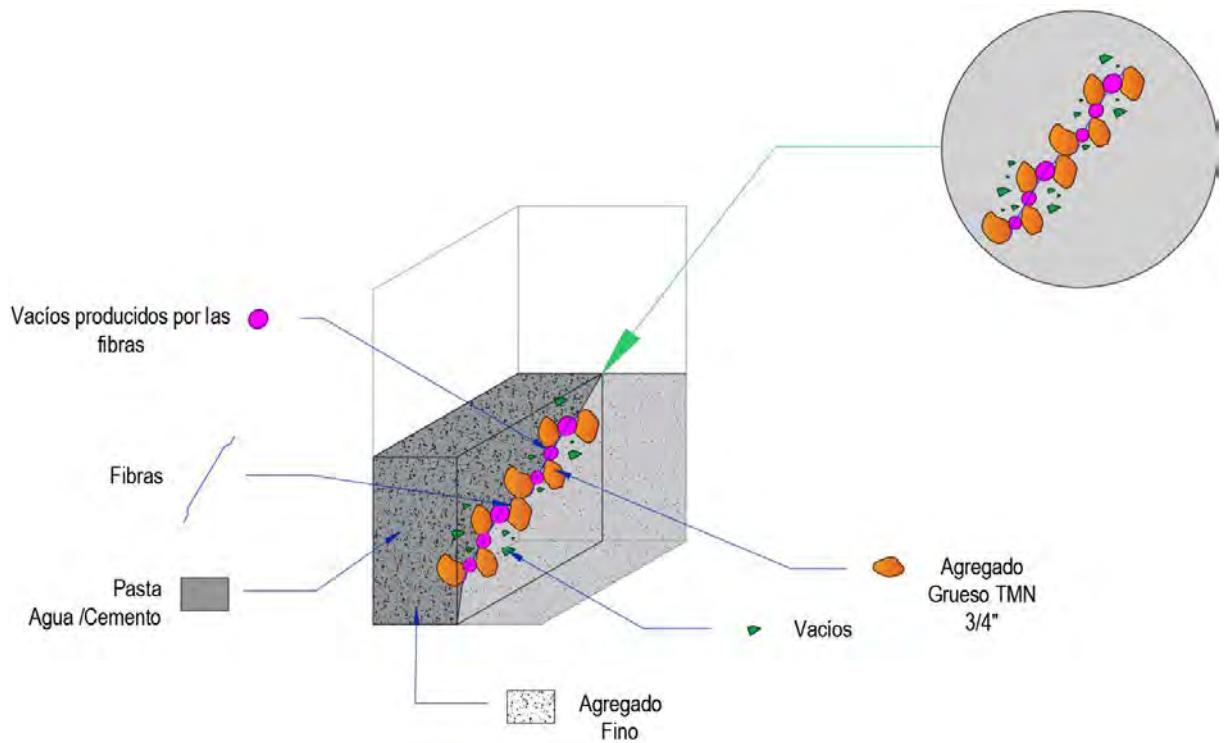
En relación a las fotografías antes mostradas y en base a un minucioso proceso de observación y un análisis exhaustivo de las muestras de concreto evaluadas, hemos construido una representación gráfica que busca ilustrar el impacto de las fibras de acero trefilado de alta calidad en la formación de vacíos en el concreto.

En la Figura 66, se puede apreciar cómo, en ausencia de fibras, los espacios entre los agregados de mayor tamaño están ocupados por partículas de menor dimensión. Sin embargo, al examinar la Figura 67, se evidencia claramente cómo la introducción de las fibras altera la disposición espacial del material: las partículas que antes llenaban los vacíos entre los agregados más grandes son reemplazadas por fibras, lo que da lugar a la formación de nuevos espacios.

**Figura 66**

*Estructura de concreto permeable sin incorporación de fibras*



**Figura 67***Estructura de concreto permeable con incorporación de fibras*

Es esencial tener en cuenta el análisis de la interacción entre las fibras, los agregados y el material cementante al evaluar las propiedades y el comportamiento del concreto permeable. Esta interacción con los agregados y la matriz cementante puede tener un impacto significativo en la porosidad del material, lo cual, a su vez, influye en sus características de permeabilidad. Es relevante mencionar que, aunque no era el enfoque principal de esta investigación, se llevó a cabo un análisis visual de múltiples muestras de concreto permeable. En este análisis se pudo observar que las fibras de acero trefilado de alta calidad crean espacios entre las partículas, impidiendo que el material cementante los llene por completo, lo que provoca un aumento en la permeabilidad. Esta observación es compatible con los resultados numéricos de los ensayos de permeabilidad obtenidos.

## Conclusiones

- Durante la primera etapa de investigación, se desarrollaron seis diseños para concreto permeable destinado a pavimentos rígidos. El diseño I-Ico-AG-AF-3 fue seleccionado debido a su resistencia a la compresión de 256.88 kg/cm<sup>2</sup>, módulo de rotura de 37.81 kg/cm<sup>2</sup> y permeabilidad de 0.31 cm/seg. Estas características no solo cumplen, sino que superan los valores mínimos exigidos para un pavimento rígido permeable, que son: un módulo de rotura de 34 kg/cm<sup>2</sup>, resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> y una permeabilidad de 0.2 cm/seg. A pesar del desafío de equilibrar la resistencia con la permeabilidad, la investigación se enfocó en una perspectiva realista. Se optó por utilizar agregados locales provenientes de la cantera Arenera Jaén, ubicada en la ciudad de Jaén, región Cajamarca. El objetivo fue lograr una mezcla eficiente que funcione como patrón base.
- En la segunda etapa de la investigación, se desarrollaron nuevos diseños a partir del patrón base (I-Ico-AG-AF-3), incorporando proporciones variables de fibras de acero de alta calidad según las especificaciones técnicas de SIKA FIBER CHO 80/60 NB. Se obtuvieron así los diseños II-Ico-AG-AF-3-FA25 (25 kg/m<sup>3</sup> de fibra), II-Ico-AG-AF-3-FA35 (35 kg/m<sup>3</sup>), e II-Ico-AG-AF-3-FA45 (45 kg/m<sup>3</sup>). Con respecto a la resistencia a la compresión del patrón base, que fue de 256.88 kg/cm<sup>2</sup>, se observaron incrementos significativos del 11.80%, 16.77% y 21.73% en los mencionados diseños, respectivamente. Estos resultados directamente derivan de la adición de fibras en la mezcla, lo que demuestra claramente su impacto positivo en la mejora de las propiedades mecánicas.
- En cuanto a la resistencia a la flexión expresado en módulo de rotura del patrón base (37.81 kg/cm<sup>2</sup>), la incorporación de fibra mostró incrementos del 29.36 %, 34.82 % y 36.93 % para los diseños II-Ico-AG-AF-3-FA25 (48.91 kg/cm<sup>2</sup>), II-Ico-AG-AF-3-FA35(50.98 kg/cm<sup>2</sup>) y II-Ico-AG-AF-3-FA45 (51.77kg/cm<sup>2</sup>) respectivamente.
- Respecto a la permeabilidad del patrón base (0.31 cm/seg), la adición de fibra mostró incrementos del 7.64 %, 10.61 % y 13.73% para los diseños II-Ico-AG-AF-3-FA25 (0.33 cm/seg), II-Ico-AG-AF-3-FA35(0.34cm/seg) y II-Ico-AG-AF-3-FA45 (0.35 cm/seg) respectivamente.
- Mediante un meticuloso proceso metodológico, esta investigación ha determinado que la integración controlada de fibras de acero trefilado de alta calidad en el concreto permeable para pavimentos rígidos realza de manera significativa sus propiedades mecánicas e hidráulicas. Los datos empíricos analizados respaldan una correlación directa entre la cantidad de fibra añadida y las mejoras evidenciadas en resistencia a compresión, flexión y permeabilidad. Asimismo, es vital destacar la importancia de la disposición geométrica de las fibras en la matriz de concreto: esta configuración facilita una distribución uniforme de partículas, conduciendo a un notable incremento en los vacíos y, por ende, incrementando

la permeabilidad del material. Esta observación es corroborada a través de detalladas inspecciones visuales de las secciones transversales de muestras de concreto permeable reforzado con fibras metálicas, alineándose a la perfección con los resultados experimentales



## Referencias

- American Concrete Institute. Guide for Design and Construction of Concrete Parking Lots. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich. (Concrete, 330R-01).
- American Concrete Institute. Guide to Selecting Concrete proportioning without Slump. (Concrete, 330R-01).
- American Concrete Institute. Report on Pervious Concrete||. American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich. (Concrete, 522R-10).
- American Concrete Institute. Report on Pervious Concrete ACI 522R-10 (Reapproved 2011).
- American Concrete Institute. Specification for Pervious Concrete Pavement|| American Concrete Institute. Farmington Hills, Mich. (Concrete, 522.1-08).
- American Concrete Pavement Association, National Ready Mixed Concrete Association, Portland Cement Association. Hydrological Design and Resources. (Concrete).
- Azañedo Medina W. H., Chávez Juanito H., y 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. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Barahona Aguiluz, R. A., Martínez Guerrero, M. V. y Zelaya Zelaya, S. E. (2013). Comportamiento del Concreto Permeable utilizando agregado grueso de las canteras, el Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la zona oriental de el salvador.
- Calderon Colca, Y., Charca Chura, J., & Yanqui Murillo, C. Investigación en concreto poroso (Boletín Informativo ASOCEM 2013). Arequipa, Perú.
- Carlos Aire (2011). Concreto permeable: alternativas sustentables. INSTITUTO MEXICANO DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO A.C. (3). <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- Cabello Sequera, S., Campuzano Vera, L., Espinoza Correa, J. y Sánchez Mendieta, C. (06 de 2015, junio). CONCRETO POROSO: CONSTITUCIÓN, VARIABLES INFLUYENTES Y PROTOCOLOS PARA SU CARACTERIZACIÓN. Cumbres Revista científica - Universidad Técnica De Machala, Artículo ISSN 1390-9541.
- Comportamiento del concreto permeable utilizando agregado grueso de las canteras, El Carmen, Aramuaca y La Pedrera, de la Zona oriental de El Salvador. (2013). Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador, Centro América.
- Construcción y Tecnología en Concreto. (2011). Concreto Permeable: Una alternativa Sustentable. Retrieved from <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>

- Control de escorrentías urbanas mediante pavimentos permeables: aplicación en climas mediterráneos. (2011). Universidad Politécnica de Valencia.
- Diseño de un campo de prueba piloto de pavimentos permeables en la ciudad de Cartagena. (2014). Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia.
- Diseño de un concreto Permeable para la recuperación de Agua/ A pervious concrete design for wáter recovery. (2014). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Diseño y Aplicación de concreto poroso en pavimentos. (2014). Pontificia Universidad Javeriana, Santiago de Cali, Bogotá, Colombia.
- Diseño y caracterización mecánica del concreto permeable empleando diferentes aditivos. (2014). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Área Académica de Ingeniería. Pachuca de Soto, Hidalgo, México.
- Hidroconcreto. (2012). Sistemas para infiltrar o recuperar el agua pluvial por medio de pisos y pavimentos porosos. Retrieved from <http://www.concretopermeable.com/fichatecnicahidrocreto.pdf>
- IMCYC. (2011). Tecnología. Retrieved from <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- IMCYC. (2011). Tecnología. Retrieved from <http://www.imcyc.com/revistacyt/jun11/arttecnologia.htm>
- Influencia de la fibra de acero trefilado de alta calidad y microsílíce en la resistencia a flexión del concreto ecológico  $f'c=210\text{kg/cm}^2$  para pavimentos rígidos. (2016). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Cajamarca, Perú.
- Investigación en Concreto Poroso. (2013). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Arequipa, Perú.
- Norma Técnica Peruana. CONCRETO. (Concreto).
- NRMCA. CIP 38 - CONCRETO PERMEABLE.
- Neithalath, N., Marolf, A., Vende, E. y Thorton, G. (2003). Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials. Universidad de Purde.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) (17 de julio del 2013). Manual de especificaciones técnicas generales para construcción RD N° 22-2013-MTC/14. (EG 2013).
- Reglamento nacional de edificaciones. Norma ce.010 pavimentos urbanos.

Rodas Ralda, N. I. (2012). Desarrollo y uso de bloques de concreto permeable en senderos Permeables.

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.



## Apéndice

### Apéndice A – Resumen de resultados – I etapa

Identificación	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar f'c	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar Mr
I-Ico-AG-AF-5	194.91	7.95	22.72	3.91
I-Ico-AG-AF-4	216.21	2.86	25.91	4.35
I-Ico-AG-AF-1	227.84	6.42	31.32	4.00
I-Ico-AG-AF-3	256.88	2.57	37.81	3.59
I-Ico-AG-AF-6	273.24	3.19	38.56	5.88
I-Ico-AG-AF-2	287.65	7.18	39.04	2.37



**Apéndice B – Resumen de resultados – II etapa**

Identificación	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar f'c	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	Desviación estándar Mr
I-Ico-AG-AF-3	256.88	2.57	37.81	3.59
II-Ico-AG-AF-3-FA25	287.19	4.49	48.91	4.57
II-Ico-AG-AF-3-FA35	299.96	2.39	50.98	1.83
II-Ico-AG-AF-3-FA45	312.70	3.07	51.77	1.54



**Apéndice C –Propiedades mecánicas y permeabilidad – I etapa**

Identificación de diseño de mezcla	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Mr (kg/cm <sup>2</sup> )	k (cm/s)
I-Ico-AG-AF-5	194.91	22.72	0.45
I-Ico-AG-AF-4	216.21	25.91	0.40
I-Ico-AG-AF-1	227.84	31.32	0.34
I-Ico-AG-AF-3	256.88	37.81	0.31
I-Ico-AG-AF-6	273.24	38.56	0.19
I-Ico-AG-AF-2	287.65	39.04	0.13



## Apéndice D – Resultados de selección de muestra patrón base – I etapa

Identificación de la Mezcla	Módulo de Rotura Mr min = 34 kg/cm <sup>2</sup>		Resistencia a la Comprensión F'C min = 210 kg/cm <sup>2</sup>		Permeabilidad k min = 2.00 cm/seg.	
	Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple	Cumple	No Cumple
I-Ico-AG-AF-5		X		X	X	
I-Ico-AG-AF-4		X	X		X	
I-Ico-AG-AF-1		X	X		X	
I-Ico-AG-AF-3	X		X		X	
I-Ico-AG-AF-6	X		X			X
I-Ico-AG-AF-2	X		X			X



**Apéndice E – Resultados de ensayos a la compresión – II etapa**

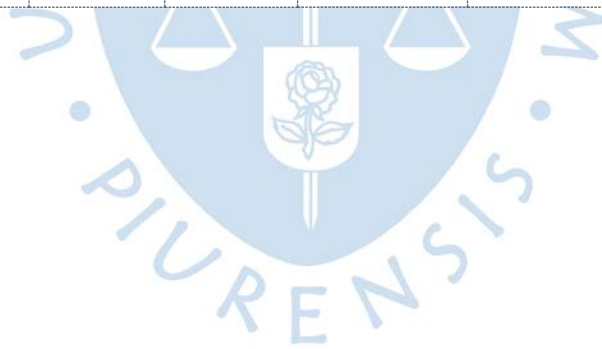
Promedio de ensayos a compresión				Variación de la resistencia a los 28 días respecto a patrón base
Tipo de Mezcla	N° Ensayo	Resistencia a los 28 días(kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	
<b>I - Ico - AG - AF – 3 (Muestra patrón base)</b>	1	259.35	256.88	
	2	254.23		
	3	257.06		
<b>II - Ico - AG - AF - 3 - FA25</b>	1	289.82	287.19	11.80%
	2	289.74		
	3	282.00		
<b>II - Ico - AG - AF - 3 - FA35</b>	1	301.72	299.96	16.77%
	2	300.90		
	3	297.24		
<b>II - Ico - AG - AF - 3 - FA45</b>	1	314.03	312.70	21.73%
	2	309.18		
	3	314.88		

**Apéndice F – Resultados de ensayos a flexión a la edad de 28 días – II etapa**

Promedio de ensayos a la Flexión				Variación de la Resistencia a los 28 días respecto a muestra patrón base
Tipo de Mezcla	N° Ensayo	Resistencia a los 28 días(kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (kg/cm <sup>2</sup> )	
<b>I - Ico - AG - AF - 3 (Muestra patrón base)</b>	1	40.94	37.81	
	2	38.60		
	3	33.89		
<b>II - Ico - AG - AF - 3 - FA25</b>	1	44.36	48.91	29.36%
	2	48.87		
	3	53.50		
<b>II - Ico - AG - AF - 3 - FA35</b>	1	52.02	50.98	34.82%
	2	48.87		
	3	52.06		
<b>II - Ico - AG - AF - 3 - FA45</b>	1	53.24	51.77	36.93%
	2	51.90		
	3	50.17		

## Apéndice G – Resultados de ensayo de permeabilidad – II etapa

Promedio de la Permeabilidad					Variación de la Permeabilidad a los 28 días respecto a la muestra patrón base
Tipo de Mezcla	N° Ensayo	Tiempo (S)	Tiempo Promedio (S)	Permeabilidad promedio (cm/s)	
I - Ico - AG - AF - 3 (muestra patrón base)	1	6.26	6.26	0.31	
	2	6.25			
	3	6.27			
II - Ico - AG - AF - 3 - FA25	1	5.81	5.81	0.33	7.64%
	2	5.80			
	3	5.82			
II - Ico - AG - AF - 3 - FA35	1	5.61	5.60	0.34	10.61%
	2	5.60			
	3	5.59			
II - Ico - AG - AF - 3 - FA45	1	5.50	5.50	0.35	13.73%
	2	5.51			
	3	5.49			



### Apéndice H – Resultados permeabilidad – I etapa

Etapa	Tipo de mezcla	Identificación de probeta	N° ensayo	Características de Muestra (Probeta Cilíndrica)			Características de Tubería		Carga de agua aplicada			Permeabilidad			
				Longitud de probeta L (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Área de la muestra A (cm <sup>2</sup> )	Diámetro (cm)	Área de tubería de carga a (cm <sup>2</sup> )	h1 (cm)	h2(cm)	Carga de agua aplicada (cm)	ln(h2/h1)	Tiempo (s)	k (cm/s)	K Prom. (cm/s)
1	I - lco - AG - AF - 1	PI.1-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	61.89	0.34	0.34
		PI.1-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	62.00	0.34	
		PI.1-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	62.11	0.34	
1	I - lco - AG - AF - 2	PI.2-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	166.44	0.13	0.13
		PI.2-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	166.56	0.13	
		PI.2-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	166.67	0.13	
1	I - lco - AG - AF - 3	PI.3-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	69.56	0.31	0.31
		PI.3-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	69.44	0.31	
		PI.3-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	69.67	0.31	
1	I - lco - AG - AF - 4	PI.4-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	52.78	0.40	0.40
		PI.4-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	52.89	0.40	
		PI.4-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	53.00	0.40	
1	I - lco - AG - AF - 5	PI.5-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	48.00	0.44	0.45
		PI.5-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	47.89	0.45	
		PI.5-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	47.78	0.45	
1	I - lco - AG - AF - 6	PI.6-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	109.44	0.19	0.19
		PI.6-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	109.33	0.20	
		PI.6-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	109.56	0.19	

**Apéndice I – Resultados permeabilidad – II etapa**

Etapa	Tipo de mezcla	Identificación de probetas	N° ensayo	Características de Muestra ( Probeta Cilíndrica)			Características de Tubería		Carga de agua aplicada			Permeabilidad			
				Longitud de probeta L (cm)	Diámetro de la Muestra (cm)	Área de la muestra A (cm <sup>2</sup> )	Diámetro (cm)	Área de tubería de carga a (cm <sup>2</sup> )	h1 (cm)	h2(cm)	Carga de agua aplicada (cm)	ln(h2/h1)	Tiempo (s)	k (cm/s)	k promedio (cm/s)
1	I - Ico - AG - AF - 3	PF.1-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	69.56	0.31	0.31
		PF.1-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	69.44	0.31	
		PF.1-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	69.67	0.31	
2	II - Ico - AG - AF - 3 - FA25	PF.2-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	64.56	0.33	0.33
		PF.2-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	64.44	0.33	
		PF.2-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	64.67	0.33	
2	II - Ico - AG - AF - 3 - FA35	PF.3-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	62.33	0.34	0.34
		PF.3-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	62.22	0.34	
		PF.3-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	62.11	0.34	
2	II - Ico - AG - AF - 3 - FA45	PF.4-01	1	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	61.11	0.35	0.35
		PF.4-02	2	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	61.22	0.35	
		PF.4-03	3	15	9.5	70.88	9.5	70.88	29	7	22	1.42	61.00	0.35	

**Apéndice J – Resumen de diseños de mezclas – I etapa**

<b>Identificación</b>	<b>Cemento kg/m3)</b>	<b>A. Fino (kg/m3)</b>	<b>A. Grueso (kg/m3)</b>	<b>Agua (Lt)</b>
<b>I-Ico-AG-AF-5</b>	346	195	1554	111
<b>I-Ico-AG-AF-4</b>	355	219	1556	110
<b>I-Ico-AG-AF-1</b>	357	228	1559	107
<b>I-Ico-AG-AF-3</b>	363	236	1563	105
<b>I-Ico-AG-AF-6</b>	369	254	1567	104
<b>I-Ico-AG-AF-2</b>	375	260	1570	102



## Apéndice K – Resumen de diseño de mezclas – II etapa

Identificación	Cemento (kg/m3)	A. Fino (kg/m3)	A. Grueso (kg/m3)	Agua (Lt)	FIBRAS DE ACERO PERFILADO
I-Ico-AG-AF-3	363.05	236.00	1562.91	105.28	0
II-Ico-AG-AF-3-FA25	363.05	236.00	1562.91	105.28	25
II-Ico-AG-AF-3-FA35	363.05	236.00	1562.91	105.28	35
II-Ico-AG-AF-3-FA45	363.05	236.00	1562.91	105.28	45



## Apéndice L – Procedimiento diseño de mezcla de concreto permeable.

### i) Selección de la resistencia promedio

#### *Determinación de la resistencia a la compresión promedio*

La resistencia a compresión es la característica mecánica principal del concreto de diseño y se tomó una resistencia promedio superior, especificada por el ingeniero proyectista.

**Fuente:** Elaboración Propia.

### ii) Asentamiento

- ❖ **Norma:** El ACI 211.3R-02 proporciona una guía para la selección de consistencia para concreto de Slump cero.

#### *Consistencias del concreto según el ACI 211.3R-02*

Descripción de Consistencia	Asentamiento
Sumamente Seco	--
Muy Seco	--
Seco	0" – 1"
Plástico Seco	1" – 3"
Plástica	3" – 5"
Muy Plástica	5" – 7 1/2"

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

La característica del concreto permeable es que la mezcla tiene una consistencia seca de asentamiento inferior a 2mm.

### iii) Tamaño Máximo Nominal

Según al Norma ASTM C 33 y la norma ACI 522-10, el tamaño máximo nominal para concretos permeables está comprendido dentro de los usos granulométricos: N° 67 (¾" a N°4), N° 7 (1/2" a N° 16), N° 8 (3/8" a N° 8), N° 89 (3/8" a N° 16), para el presente trabajo de investigación se ha escogido un tamaño máximo nominal de 3/4" a N°4 que pertenece al uso granulométrico 67.

Según el ACI 211.3R-02 Apéndice 6 y el ACI 522-10 (Pervious Pavement Organization) recomienda una relación agua / material cementante entre 0.26 – 0.45, para proporcionar al agregado mejor recubrimiento y estabilidad en la mezcla.

Para el presente trabajo de investigación se tomó valores desde 0.27 – 0.31 para la relación agua / material cementante (Ref. Diseño de mezcla de concreto poroso, Azañedo Medina Wiston H. - Chávez Juanito Helard. - Muñoz Valdivia Richard G., Universidad Nacional de Cajamarca, Perú, 2007)

#### v) Determinación del Agregado Grueso

Para obtener la cantidad de agregado grueso se basó en el método del ACI 211.3R-02 Apéndice 7, en donde se presenta una tabla en función del porcentaje de fino del 0% al 20% del total de los agregados y el uso granulométrico N° 8 y N° 67, de la cual se obtiene el coeficiente  $b/b_0$ .

Valor  $b/b_0$  efectivo

% Agregado fino	$b/b_0$	
	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

$$b/b_0$$

Donde:

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

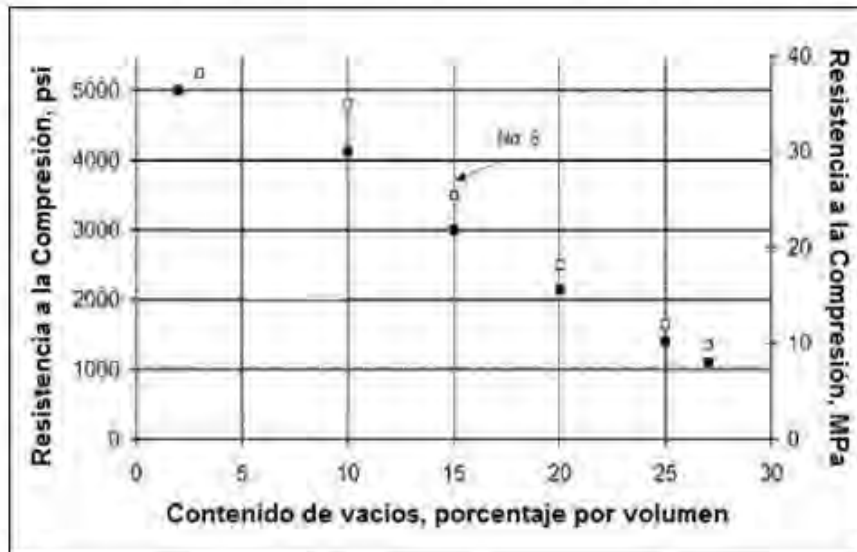
$b$  = Volumen real del agregado grueso en una unidad de volumen de concreto.

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

### vi) Cantidad de Cemento

Para la determinación del cemento partimos de la referencia ACI 211.3R-02 Apéndice 6, y según el gráfico Contenido de Vacíos y Resistencia a compresión a los 28 días, se entra con el dato de la resistencia promedio de acuerdo con el diseño y hallamos el contenido de vacíos en porcentaje.

*ACI 211.3R-02 Apéndice 7, Relación entre el Contenido de Vacíos y Resistencia a la Compresión a los 28 días para Agregados de tamaño N.º 8 de la Norma ASTM C 33.*

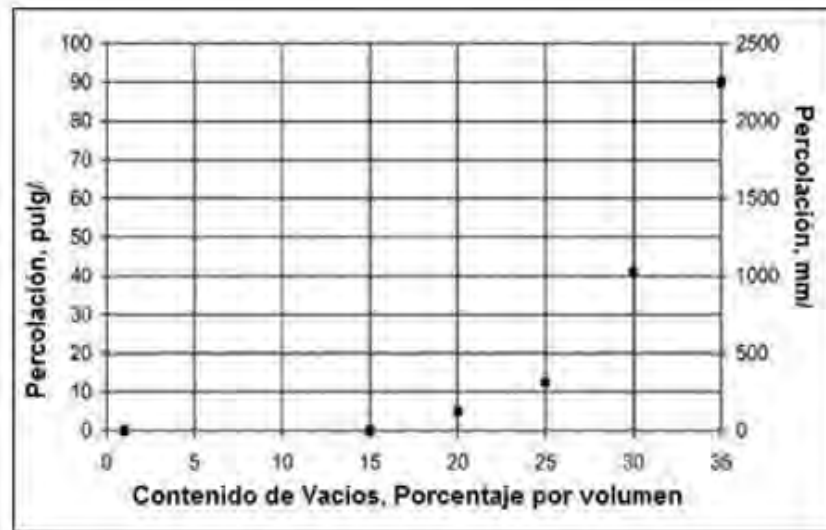


**Fuente:** ACI 211.3R-02

Teniendo el porcentaje de vacíos hallaremos la percolación estimada basado en pruebas y Métodos de Ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggegates Association - National Ready Mixed Concrete Association).

TURENSI

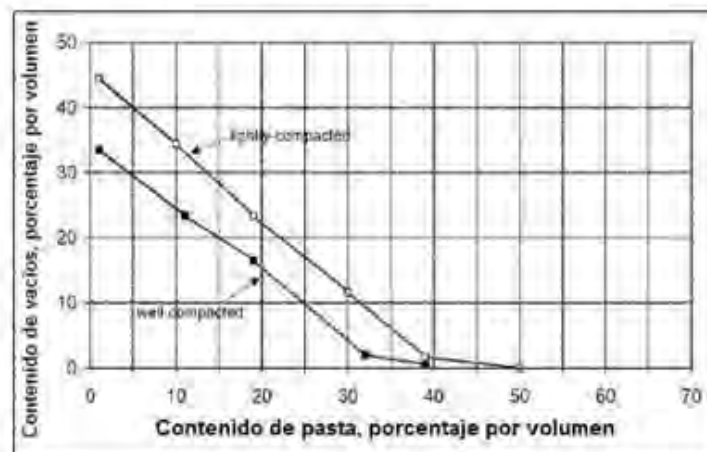
ACI 211.3R-02 Apéndice 7, Contenido de Vacíos Mínimo para la percolación basada en pruebas y Métodos de Ensayo de la NAA-NRMCA (National Aggegates Association-National Ready Mixed Concrete Association).



**Fuente:** ACI 211.3R-02

Una vez hallado el porcentaje del contenido de vacíos, hallamos el porcentaje del volumen de pasta según el siguiente gráfico.

ACI 211.3R-02 Apéndice 7, Relación entre pasta y Contenido de Vacíos para agregados de Tamaño N.º 67 según designación de la Norma ASTM C 33.



**Fuente:** ACI 211.3R-02

Si se sabe que:

$$\text{Volumen de pasta} = \text{Volumen de cemento} + \text{Volumen de agua}$$

Además

$$\text{Volumen de pasta} = \frac{\text{cemento}}{\text{peso específico Cemento}} + \frac{\text{agua}}{\text{peso específico agua}}$$

**vii) Volumen de agua de diseño**

A partir de la relación agua / material cementante y de la cantidad de cemento de la ecuación anterior, se calcula el volumen unitario de agua de diseño.

$$\text{Agua} = (\text{Contenido de cemento}) * (\text{Relación } a/c)$$

**viii) Determinación de volúmenes absolutos de agregado fino – Método de los volúmenes absolutos**

El comité ACI 211 determina el volumen absoluto, como la suma de los pesos de los materiales cemento, agua, agregado grueso, aire dividido entre sus pesos específicos. El volumen absoluto del agregado fino es la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos.

La determinación del peso seco del agregado fino es igual:

$$\text{Peso agregado fino seco} = (\text{Vol. Abs. A.F}) * (\text{Peso específico A.F})$$

**ix) Resumen de pesos secos materiales por m<sup>3</sup>****x) Corrección de valores de diseño por humedad de los agregados**

Puesto que los agregados para la preparación de concreto 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 el agua de mezclado 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 del agregado menos el porcentaje de absorción.

$$\text{Peso del agr. grueso humed (kg)} = (\text{Peso del agr. grueso seco en kg}) * (1 + W_{AG}\%)$$

$$\text{Peso del agr. fino humedo en kg} = (\text{Peso del agr. fino seco en kg}) * (1 + W_{AF}\%)$$

$$\text{Peso del agr. grueso} = (\text{Peso del agr. grueso seco en kg}) * (W_{AG}\% - Abs_{AG}\%)$$

$$\text{Peso del agr. fino} = (\text{Peso del agr. fino seco en kg}) * (W_{AF}\% - Abs_{AF}\%)$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua de diseño} - (\text{Agua en el agr. grueso} + \text{Agua en el agr. fino})$$

- xi) **Resumen de cantidad de materiales por m<sup>3</sup> de concreto corregidos por humedad**
- xii) **Determinación de proporciones en peso de diseño y de obra**

La proporción se relaciona con la cantidad de cemento que se está siendo utilizada.

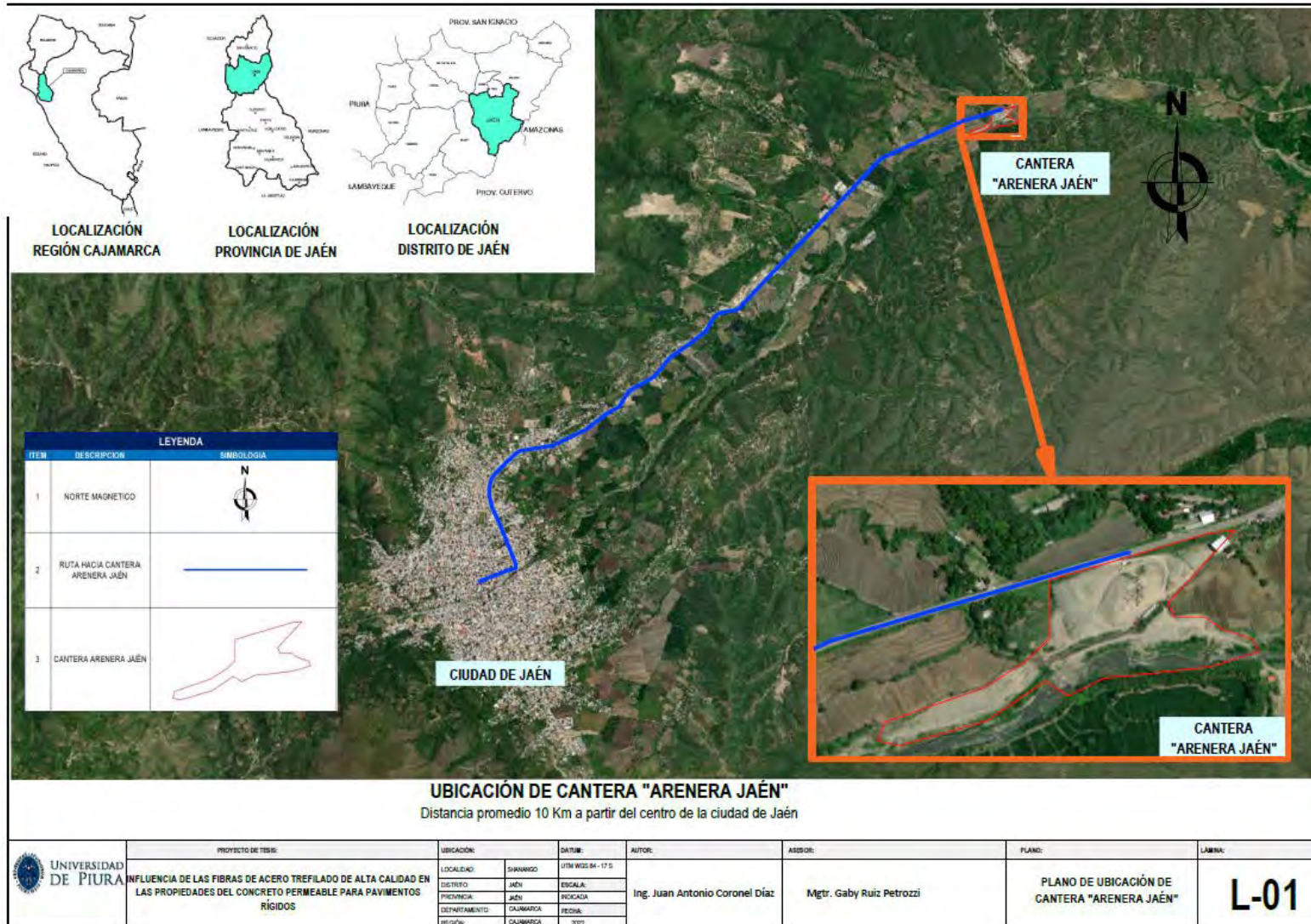
$$\frac{\text{cemento}}{\text{cemento}} : \frac{\text{agregado fino}}{\text{cemento}} : \frac{\text{agregado grueso}}{\text{cemento}}$$

*Relación agua / cemento de diseño = Agua de diseño/cemento*

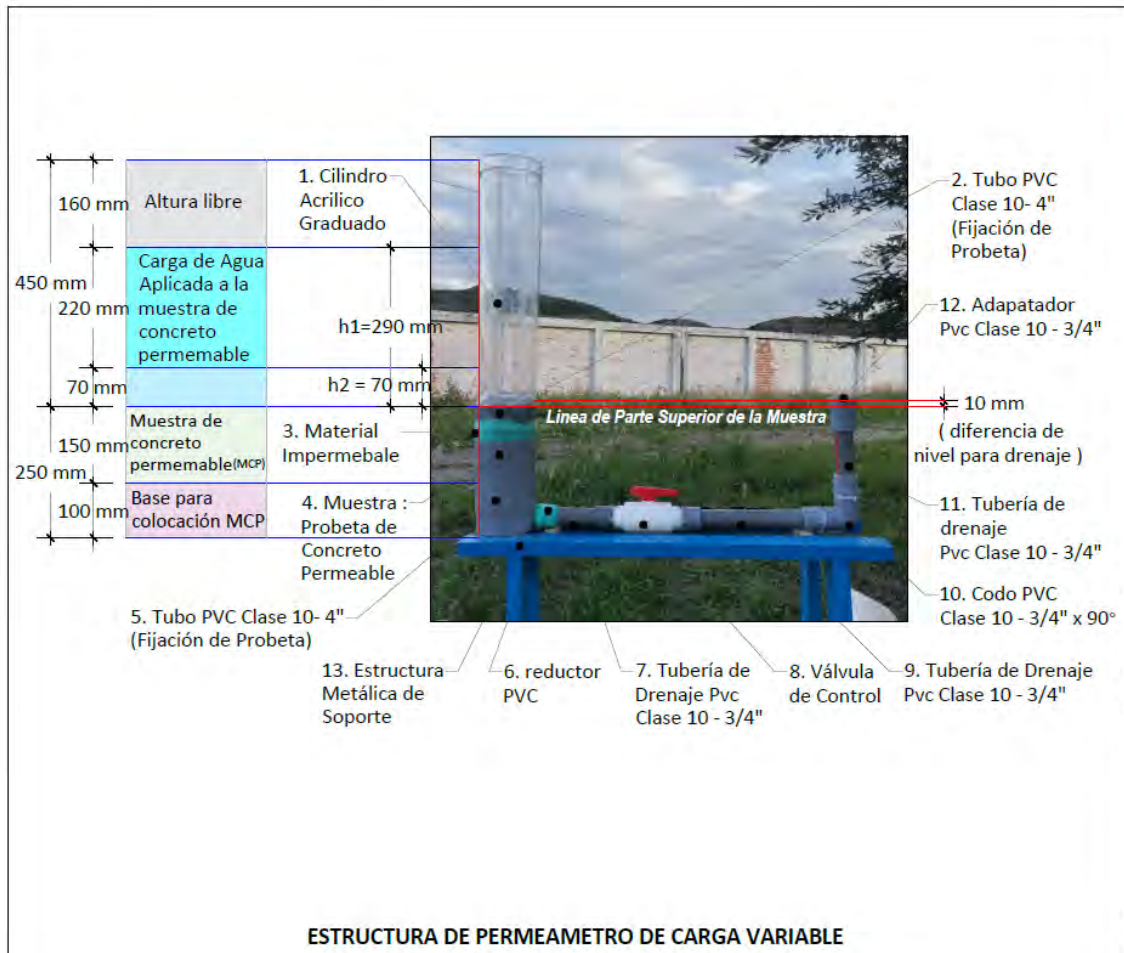
*Relación agua / cemento efectiva = Agua efectiva/cemento*



Apéndice LL - Lámina de ubicación de cantera de agregados



**Apéndice M – Lámina de estructura de permeámetro de carga variable**



FACULTAD DE INGENIERÍA

**Influencia de las fibras de acero  
trefilado de alta calidad en las  
propiedades del concreto permeable  
para pavimentos rígidos**

Tesis para optar el Grado  
de Máster en Ingeniería Vial

Autor:	Ing. Juan Antonio Coronel Díaz
Asesor(es):	Mgtr. Gaby Ruiz Petrozzi
Descripción:	Estructura de Permeámetro de Carga Variable, según ACI 522 R -10
Fecha:	2022
Lámina:	<b>L-02</b>

**Apéndice N – Ecuación de permeabilidad -permeámetro de carga variable**

**Ecuación General para permeámetro de carga variable**

$$K = \frac{C}{t}$$

donde:

K= Coeficiente de permeabilidad(cm/seg)

C = Constante=  $\frac{L \times a}{A} \times \ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right)$

Reemplazando los datos propios de la configuración geométrica del permeámetro de carga variable elaborado

$$K = \frac{21.32 \text{ cm}}{t \text{ (seg)}}$$

Siendo:

- L= longitud de probeta de concreto permeable (L= 15 cm)
- a=área de tubería cilindro acrílico graduado (diámetro=9.5 cm)
- A= área de espécimen de concreto permeable (diámetro=9.5 cm)
- h1= altura de carga de área antes de drenaje (29 cm)
- h2= altura de carga de área antes de drenaje (7 cm)

**CÁLCULO DE LA ECUACIÓN DE PERMEABILIDAD PARA EL PERMEÁMETRO DE CARGA VARIABLE EN LA INVESTIGACIÓN ACTUAL**

**UNIVERSIDAD DE PIURA**

FACULTAD DE INGENIERÍA


**Influencia de las fibras de acero trellado de alta calidad en las propiedades del concreto permeable para pavimentos rígidos**

Tesis para optar el Grado de Máster en Ingeniería Vial

Autor:	Ing. Juan Antonio Coronel Díaz
Asesor(es):	Mgtr. Gaby Ruiz Petrozzi
Descripción:	Cálculo de la ecuación de permeabilidad para el permeámetro de carga variable en la investigación actual
Fecha:	2022
Lámina:	L-03

## Anexos



### Anexo A – Resumen de análisis granulométrico de agregados

 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO AGREGADOS	LSP22 - DM - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

#### RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LOS AGREGADOS

CARACTERISTICA DEL AGREGADO	UNIDAD	AG. FINO	AG. GRUESO
Peso Específico de Masa	gr/cm <sup>3</sup>	2.67	2.75
Peso Específico de Masa Saturada con Superficie Seca	gr/cm <sup>3</sup>	2.62	2.7
Peso Unitario Suelto Seco	Kg/m <sup>3</sup>	1618	1422
Peso unitario Compactado Seco	Kg/m <sup>3</sup>	1844	1603
Contenido de Humedad	%	3.69	0.69
Absorción	%	1.21	1.13
Módulo de Finura		3.19	7.93
Tamaño Máximo Nominal		0.75	
Partículas <Tamiz N°200		1.26	0


  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jonathan Barahona Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jander Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA, N°381 A UNA CUADRA DEL  
 MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

Anexo B –Resultados del ensayo porcentaje de caras fracturadas

		GEOCON VIAL - INGENIEROS CONSULTORES E.I.R.L.				OFICINA DE GESTION Y CONTROL DE CALIDAD	
		FORMATOS DE CONTROL DE CALIDAD				SECTOR :	LABORATORIO
		OCF-DTAG-16				CODIGO:	893-22-MG-MG-001
DATOS DEL PROYECTO							DATOS DEL PERSONAL
PROYECTO:	INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ALGODON TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS					GERENTE GENERAL :	ING. RAFAEL QUIROZ CHIRUAN
UBICACION:	DISTRITO JAJEN, PROVINCIA JAJEN, DEPARTAMENTO CAJAMARCA					SUPERVISOR (O) :	ANDREA RIVERA CARRION
SOLICITANTE:	ING. JUAN ANTONIO CORONEL DIAZ					TECNICO LAB.:	MARCO CHACUHUANGA PERALTA
DATOS DEL MATERIAL							CLASIFICACION DEL MATERIAL DE CANTERA
CANTERA:	ARENERA JAJEN	PROVA:	OCTUBRE DEL 2022	USO E:	CONCRETO	CLASIFICACION DEL MATERIAL FORMA A A 21 T O M 12 S	

<b>PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS A.S.T.M D 5821 (MTC E 210)</b>							
CON UNA CARA FRACTURADA							
Temperatura Agregado		PM	A	B	C	D	E
Flaca Lomo	Mojado Lomo	(g)	(g)	(g)	(G)A(100)	(%)	Cx D
1 1/2"	1"	2000	0	0	0.00	0.00	0.0
1"	3/4"	1500	1500	1150	77.07	39.37	245.3
3/4"	1/2"	1200	1150	1130	94.16	38.49	179.0
1/2"	3/8"	300	300	295	98.33	19.12	189.0
TOTAL		5000	2950	2575		70	619.0
PORCENTAJE CON UNA CARA FRACTURADA						TOTAL E	70
						TOTAL D	619

CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS							
Temperatura Agregado		PM	A	B	C	D	E
Flaca Lomo	Mojado Lomo	(g)	(g)	(g)	(G)A(100)	(%)	Cx D
1 1/2"	1"	2000	0	0	0.0	0.00	0.0
1"	3/4"	1500	1000	1129	75.3	31.07	229.0
3/4"	1/2"	1200	1135	882	73.6	33.00	129.5
1/2"	3/8"	300	300	281	93.6	19.12	194.5
TOTAL		5000	2935	2294		70	550.0
PORCENTAJE CON DOS O MAS CARAS FRACTURADAS						TOTAL E	70
						TOTAL D	550

**PM** PESO MINIMO DE MUESTRA (g)  
**A** PESO DE MUESTRA (g)  
**B** PESO MATERIAL CON CARAS FRACTURADAS (g)  
**C** PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS (g)  
**D** PORCENTAJE RETENIDO GRADACION ORIGINAL (g)  
**E** INCREMENTO DE CARAS FRACTURADAS

OBSERVACIONES:	03. PORCENTAJE MINIMO DE PARTICULAS FRACTURADAS UNA CARA SEGUN LA NORMA IS-2012 SECCION 430, TABLA 4.30-46 P. 5 DE 615. NUNCA PUEDE SER LA MUESTRA ENTREGADA COMO E CON EL RESULTADO.
----------------	---

Prohibida su Reproduccion Total o Parcial (INDECOPA, Derechos Reservados RG - CONCIVILES)

  
 ING. RAFAEL QUIROZ CHIRUAN  
 INGENIERO CIVIL  
 REG. CIP N° 133492

**Anexo C –Resultados del ensayo porcentaje de partículas chatas y alargadas**



**Anexo D – Metodología para diseño de mezcla ACI 211.3R- 02 (APENDICE 6)****APPENDIX 6—PERVIOUS CONCRETE  
MIXTURE PROPORTIONING****A6.1—General**

This guide provides a method for proportioning no-slump pervious concrete that is used for pavements and other applications where drainage and percolation are needed. Pervious concrete is an open-graded material that is bound by cement paste. The structure of the material allows the passage of water, yet provides moderate structural strength. Because of the high percentage of voids, pervious concrete has been used also as an insulating material.

**A6.2—Materials**

Pervious concrete is composed of cement or a combination of cement and pozzolan, coarse aggregate, and water. Occasionally, a small amount of fine aggregate has been incorporated to increase compressive strength and to reduce percolation through the concrete. The most common gradings of coarse aggregate used in pervious concrete meet the requirements of ASTM C 33 sieve sizes 9.5 to 2.36 mm (Size No. 8), 12.5 to 4.75 mm (Size No. 7), and 19.0 to 4.75 mm (Size No. 67). Portland cement should conform to ASTM C 150 or a combination of cementitious materials can be used that conform to the appropriate ASTM specifications.

**A6.3—Water-cementitious materials ratio**

The  $w/cm$  is an important consideration for maintaining strength and the void structure of the concrete. A high  $w/cm$  reduces the adhesion of the paste to the aggregate and causes the paste to flow and fill the voids even when lightly compacted. A low  $w/cm$  will tend to cause balling in the mixer and prevent an even distribution of materials. Experience has shown a range of 0.35 to 0.45 will provide the best aggregate coating and paste stability. Higher values of  $w/cm$  should only be used if the concrete is lightly tamped or compacted. The  $w/cm$  versus compressive strength relationship, which is normally used with conventional concrete, does not apply to pervious concrete.

#### **A6.4—Durability**

Freezing-and-thawing tests of pervious concrete indicate poor durability if the void system is filled with water. Tests have indicated that durability is improved when the void structure is permitted to drain and the cement paste is air-entrained. No research has been conducted on resistance of pervious concrete to the aggressive attack by sulfate-bearing or acidic water that can percolate through the concrete. Therefore, caution should be used in applications where aggressive water may exist.

#### **A6.5—Percent voids**

*Compressive strength versus percolation*—To ensure that water will percolate through pervious concrete, the percent voids, calculated as percent air by the gravimetric method (ASTM C 138), should be 15% or greater as shown on

Fig. A6.1.<sup>6</sup> At this void content, the compressive strength of the concrete as shown in Fig. A6.2 would be approximately 24 MPa (3500 psi) at 28 days. The higher the percent voids, the higher the percolation rate and the lower the compressive strength. The lower the percent voids, the lower the percolation rate and the higher the compressive strength. Also, the compressive strength increases as the nominal maximum size aggregate decreases.

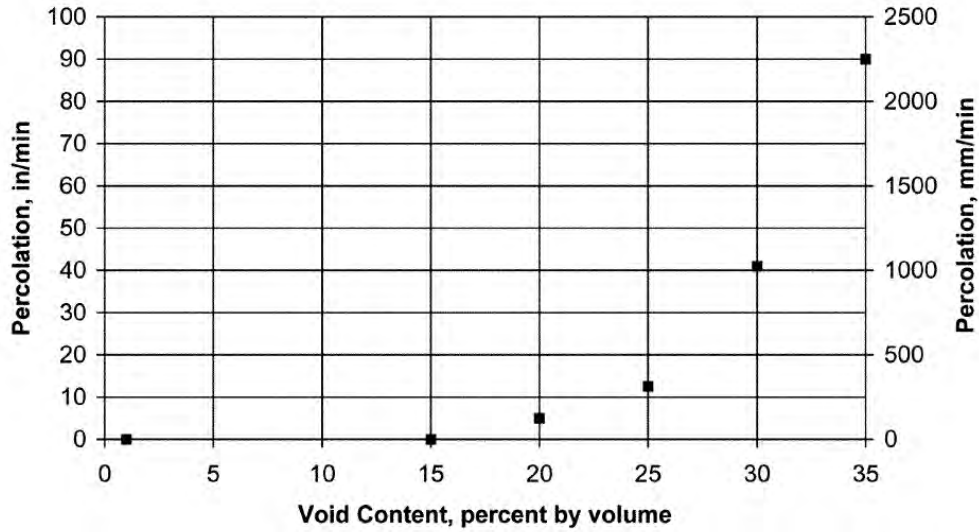


Fig. A6.1—Minimum void content for percolation based on NAA-NRMCA tests and test method.

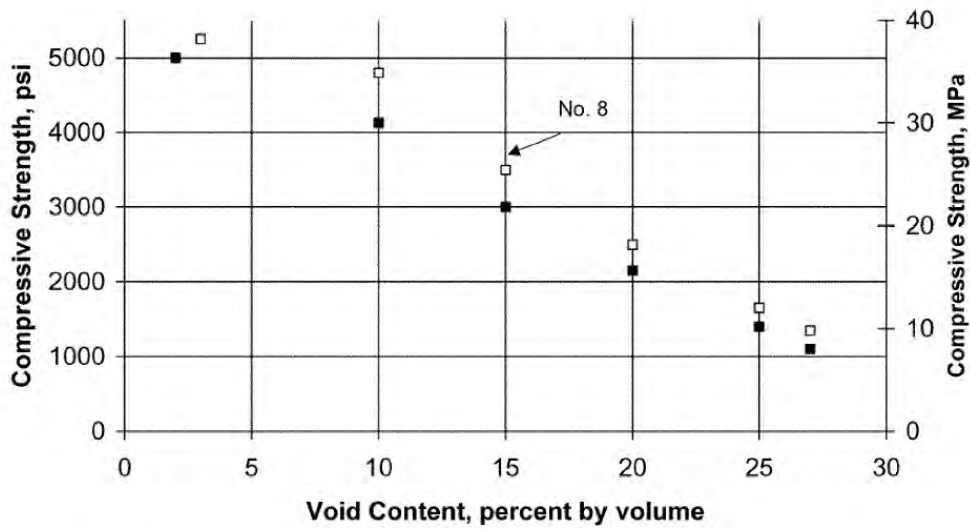


Fig. A6.2—Relationship between void content and 28-day compressive strength for No. 67 and No. 8 aggregate size.

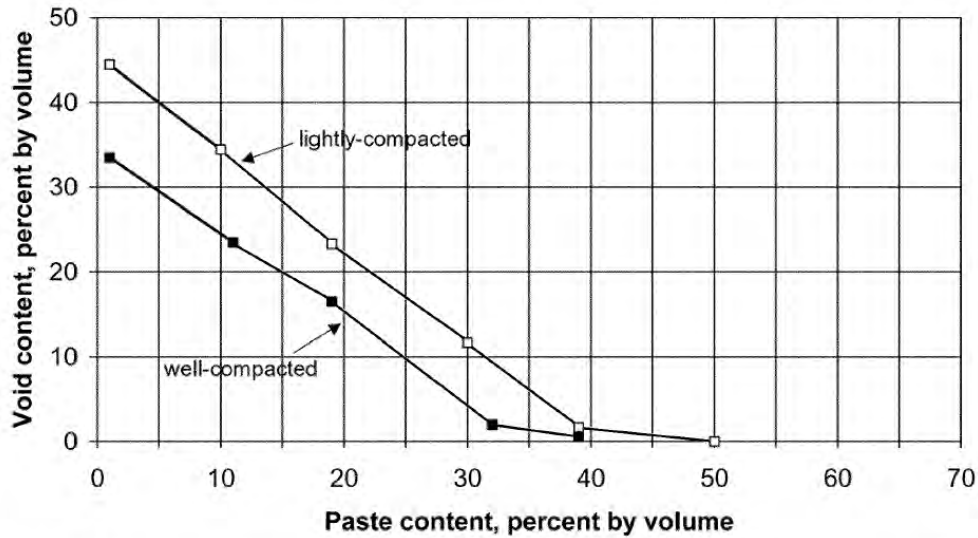


Fig. A6.3—Relationship between paste and void content for No. 8 aggregate size designations.

#### A6.6—Amount of coarse aggregate

Coarse aggregate,  $b/b_o$ , dry-rodded density tests made by the National Aggregates Association-National Ready Mixed Concrete Association (NAA-NRMCA)<sup>6</sup> show that the dry-rodded density of coarse aggregate, as determined by ASTM C 29/C 29M, can be effectively used in proportioning pervious concrete, where:

$b/b_o$  = dry-rodded volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete;

$b$  = solid volume of coarse aggregate in a unit volume of concrete; and

$b_o$  = solid volume of coarse aggregate in a unit volume of coarse aggregate.

The  $b/b_o$  value automatically compensates for the effects of different coarse aggregate particle shape, grading, and specific gravity. Furthermore, the  $b/b_o$  values for a range of nominal maximum-size aggregates normally used in pervious concrete, 10 to 20 mm (3/8 to 3/4 in.), are very similar. Table A6.1 gives the  $b/b_o$  values for coarse aggregate sizes No. 8 and No. 67 for fine aggregate contents of 0, 10, and 20% of the total aggregate.

**Table A6.1—Effective  $b/b_o$  values**

Percent fine aggregates	$b/b_o$	
	ASTM C 33 Size No. 8	ASTM C 33 Size No. 67
0	0.99	0.99
10	0.93	0.93
20	0.85	0.86

**A6.7—Proportioning procedure**

The proportioning procedure for pervious concrete is based on the volume of paste necessary to bind the aggregate particles together while maintaining the necessary void content, as shown in Fig. A6.3. The quantity of aggregate depends on the dry-rodded density and the  $b/b_o$  values selected from Table A6.1. Once the paste volume is determined from Fig. A6.3 and the desired  $w/cm$  is selected, the cement and water quantities can be determined from the relationship:

$$\text{Paste volume } (V_p) = \text{cement volume} + \text{water volume, or}$$

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

*In inch-pound units*

$$V_p = c/(3.15 \times 62.4) + w/62.4 \text{ (ft}^3\text{)}$$

where  $c$  is the mass of cement and  $w$  is the mass of water. If the water-cement ratio is ( $w/c$ ) then

$$w = (w/c)c; \text{ and}$$

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

*In inch-pound units*

$$V_p = c/(3.15 \times 62.4) + [(w/c)c/62.4] \text{ (ft}^3\text{)}$$

Therefore, once the paste volume is determined from Fig. A6.3 and the  $w/cm$  is selected, the mass of cement can be calculated. When fine aggregate is used, the paste volume should be reduced by 2% for each 10% fine aggregate of the total aggregate for well-compacted pervious concrete, and by 1% for each 10% fine aggregate of the total aggregate for lightly compacted pervious concrete. These reductions are necessary to maintain the same percent voids by volume.

*Example*—Proportion a well-compacted pervious concrete mixture with a No. 8 coarse aggregate (ASTM C 33) that has a dry-rodded density of  $1742 \text{ kg/m}^3$  ( $108.7 \text{ lb/ft}^3$ ), a bulk specific gravity (saturated surface dry) of 2.75, and an absorption of

CORUM

1.2%. The mixture should have a void content of at least 20% and a compressive strength of 14 MPa or 2000 psi at 28 days. The pervious concrete will be proportioned for  $w/c = 0.38$ , which has been selected as a stable paste for this example. No fine aggregate will be used in the mixture.

Mass of aggregate ( $M_a$ ) per  $\text{m}^3$  ( $\text{yd}^3$ );

$$\begin{aligned} M_a &= 1742 \times 0.99 = 1725 \text{ kg (dry)} \\ &= 1725 \times 1.012 = 1746 \text{ kg (SSD)} \\ M_a &= 108.7 \times 0.99 \times 27 = 2906 \text{ lb (dry)} \\ &= 2906 \times 1.012 = 2941 \text{ lb (SSD)} \end{aligned}$$

Solid volume of aggregate per  $\text{m}^3$  ( $\text{yd}^3$ ) ( $V_a$ );

$$\begin{aligned} V_a &= 1746/2750 = 0.635 \text{ m}^3 \\ V_a &= 2941/(2.75 \times 62.4) = 17.14 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

From Fig. A6.3, the percent paste by volume is 16.5 when the voids equal 20% and the material is well-compacted. Figure A6.1 indicates a percolation rate of approximately 125 mm/min (5 in./min) Figure A6.2 indicates a compressive strength of approximately 17 MPa (2500 psi).

Solid volume of paste per  $\text{m}^3$  ( $V_p$ );

$$\begin{aligned} V_p &= 16.5/100 = 0.165 \text{ m}^3, \text{ and} \\ 0.165 &= c/3150 + ((0.38) c/1000), \text{ therefore;} \\ c &= 237 \text{ kg/m}^3 \\ w &= 237(0.38) = 90 \text{ kg/m}^3 \\ V_C &= 237/3150 = 0.075 \text{ m}^3 \\ V_W &= 90/1000 = 0.090 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

*In inch-pound units*

$$\begin{aligned} V_p &= (16.5/100) \times 27 = 4.46 \text{ ft}^3; \text{ and} \\ 4.46 &= c/(3.15 \times 62.4) + 0.38(c/62.4) = 2.03 + 2.42, \text{ therefore;} \\ c &= 399 \text{ lb/yd}^3 \\ V_C &= 399/(3.15 \times 62.4) = 2.03 \text{ ft}^3 \\ w &= (0.38)399 = 152 \text{ lb} \\ V_W &= 152/62.4 = 2.43 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

The batch quantities, per  $\text{m}^3$ , are as follows:

Cement	237 kg/m <sup>3</sup>
Water	90 kg/m <sup>3</sup>
No. 8 aggregate	<u>1745 kg/m<sup>3</sup></u> (SSD)
Total mass	= 2072 kg/m <sup>3</sup>
Density	= 2072 kg/m <sup>3</sup>

Check solid volume, per m<sup>3</sup>:

Cement	0.075 m <sup>3</sup>
Water	0.090 m <sup>3</sup>
No. 8 aggregate	<u>0.635 m<sup>3</sup></u>
Total	0.800 m <sup>3</sup>

Volume of voids = 1.000 – 0.800 = 0.200 m<sup>3</sup>

The batch quantities, per yd<sup>3</sup>, are as follows:

Cement	399 lb/yd <sup>3</sup>
Water	152 lb/yd <sup>3</sup>
No. 8 aggregate	2941 lb/yd <sup>3</sup> (SSD)
Total mass	= 3492 lb/yd <sup>3</sup>
Density	= 129.3 lb/yd <sup>3</sup>

Check solid volume, per lb/yd<sup>3</sup>:


Cement	2.03 ft <sup>3</sup>
Water	2.43 ft <sup>3</sup>
No. 8 aggregate	17.14 ft <sup>3</sup>
Total	21.60 ft <sup>3</sup>

Volume of voids = (27 – 21.60) = 5.4 ft<sup>3</sup>

Percent voids = 20.00

The calculated mixture proportions should be checked in the laboratory by trial batch and adjusted as required. In addition, it is recommended that trial batches include two additional mixtures with 30 kg/m<sup>3</sup> (50 lb/yd<sup>3</sup>) more and 30 kg/m<sup>3</sup> (50 lb/yd<sup>3</sup>) less cement. These mixtures should also include the appropriate adjustments in: 1) water to produce the required *w/cm*; and in 2) aggregate to maintain the required percent voids. Generally, achieving the required void content and percolation rate with a stable paste are of greater importance than compressive strength of the mixture.


## Anexo E – Resultados de ensayo para el esfuerzo a la compresión – I ETAPA.

	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"			SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EG - 174	FECHA	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	DISEÑO DE MEZCLA	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diámetro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 1	C1-01	389.63	39734	210	15.2	1.80	220.42	227.84	22.34	108	3	6.42
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 1	C1-02	412.10	42026	210	15.2	1.81	231.60				3	
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 1	C1-03	406.50	41455	210	15.1	1.79	231.49				2	

  
 Jonathan V. Balleza Balleza  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 Juan Antonio Coronel Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA


CEL: 969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"			SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 2	C2-01	517.65	52790	210	15.2	1.80	292.84	287.65	28.21	137	5	7.18
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 2	C2-02	497.25	50710	210	15.2	1.81	279.45				5	
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 2	C2-03	517.20	52744	210	15.2	1.81	290.67				5	

  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Juan Antonio Coronel Díaz Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
 Juan Antonio Coronel Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. Nº381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA

CEL:969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – I ETAPA**

ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 3	C3-01	458.45	46753	210	15.2	1.80	259.35	256.88	25.19	122	2	2.57
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 3	C3-02	452.36	46132	210	15.2	1.81	254.23				5	
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 3	C3-03	457.4	46646	210	15.2	1.81	257.06				2	

LABSUC  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS


*[Signature]*  
Jonathan José Barahona  
TECNICO LABORATORISTA

LABSUC  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

*[Signature]*  
Javier Kumbel Ramos Diaz  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"			SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ	
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 - I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 4	C4-01	381.2	38875	210	15.2	1.80	215.65	216.21	21.20	103	2	2.86
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 4	C4-02	380.2	38773	210	15.2	1.81	213.67				5	
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 4	C4-03	385.1	39272	210	15.1	1.79	219.30				2	

LABSUC  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
*[Firma]*  
Jonathan J. Torres Barahona  
TECNICO LABORATORISTA

LABSUC  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
*[Firma]*  
Javier Kinzel Ramos Díaz  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN -  
CAJAMARCA


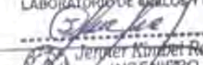
CEL:969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS DE PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EG - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 5	C5-01	333.46	34006	210	15.2	1.80	188.64	194.91	19.11	93	3	7.95
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 5	C5-02	362.72	36990	210	15.2	1.81	203.85					
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 5	C5-03	337.57	34425	210	15.1	1.79	192.24					

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE PAVIMENTOS  
  
 Jonathan Sol Marrero Banañano  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE PAVIMENTOS  
  
 Jenner Kumbel Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – I ETAPA**

ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 6	C6-01	488.39	49806	210	15.2	1.80	276.29	273.24	26.80	130	3	3.19
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 6	C6-02	480.28	48979	210	15.2	1.81	269.92				5	
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 6	C6-03	486.65	49629	210	15.2	1.81	273.50				5	


  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Juan Antonio Coronel Díaz Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jenifer Kumbel Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. Nº381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN -  
CAJAMARCA

CEL:969577841-975421091-912493920

Anexo F – Resultados de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a flexión del concreto ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P 339.078 – 2012) – I Etapa.


 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"			SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – I ETAPA**

ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	DISEÑO DE MEZCLA	IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 1	F1-01	20.15	2055	50	50.0	15.00	15.00	750.00	30.44	31.32	3.07	4.00
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 1	F1-02	18.42	1878	50	50.0	15.00	15.00	750.00	27.83			
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 1	F1-03	23.62	2409	50	50.0	15.00	15.00	750.00	35.69			

LABSUC  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
*[Firma]*  
Amatín José Torres Barahona  
TECNICO LABORATORISTA

LABSUC  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
*[Firma]*  
Javier Coronel Ramos Díaz  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 218809


 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"			SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – I ETAPA**

ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 2	F2-01	24.14	2462	50	50.0	15.00	15.00	750.00	36.47	39.04	3.83	2.37
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 2	F2-02	27.22	2776	50	50.0	15.00	15.00	750.00	41.12			
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 2	F2-03	26.17	2669	50	50.0	15.00	15.00	750.00	39.54			

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Bonatón V. Herrera Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA


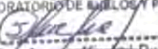
  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jennifer Kumbel Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 3	F3-01	27.10	2764	50	50.0	15.00	15.00	750.00	40.94	37.81	3.71	3.59
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 3	F3-02	25.55	2606	50	50.0	15.00	15.00	750.00	38.60			
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 3	F3-03	22.43	2287	50	50.0	15.00	15.00	750.00	33.89			

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Promatiza S.A. / Promatiza S.A. / Promatiza S.A.  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Juan Antonio Coronel Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. Nº381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	Carga	Carga	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia	Resistencia	Resistencia	Desviación Estándar
							Rotura KN	Rotura Kg.						a la flexión kg./cm <sup>2</sup>	Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Promedio MPa	
1	21/11/21	19/12/21	28	I	I - lco - AG - AF - 4	F4-01	20.45	2085	50	50.0	15.00	15.00	750.00	30.90	25.91	2.54	4.35
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 4	F4-02	15.15	1545	50	50.0	15.00	15.00	750.00	22.89			
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 4	F4-03	15.85	1616	50	50.0	15.00	15.00	750.00	23.95			

  
 Jonathan Van Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 Jennifer Kimberly Ramos Diaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN -  
CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

 <b>LABSUC</b> <small>LABORATORIO DE CEMENTOS Y PAVIMENTOS</small>	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 5	F5-01	17.72	1807	50	50.0	15.00	15.00	750.00	26.77	22.72	2.23	3.91
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 5	F5-02	12.55	1280	50	50.0	15.00	15.00	750.00	18.96			
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 5	F5-03	14.85	1514	50	50.0	15.00	15.00	750.00	22.44			

  
 LABORATORIO DE CEMENTOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jonathan V. Barahona Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE CEMENTOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jonathan Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809



DIRECCION: LA COLINA, N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN -  
 CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – I ETAPA**

ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 6	F6-01	21.62	2205	50	50.0	15.00	15.00	750.00	32.66	38.56	3.78	5.88
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 6	F6-02	29.40	2998	50	50.0	15.00	15.00	750.00	44.42			
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 6	F6-03	25.54	2605	50	50.0	15.00	15.00	750.00	38.59			


  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Denatari Van Hensco Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jennifer Kimberly Ramos Diaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN -  
 CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920


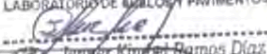
## Anexo F – Resultados de ensayo para el esfuerzo a la compresión – II ETAPA.

 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"			SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ	
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 3	M1-01	458.45	46753	210	15.2	1.80	259.35	256.88	25.19	122	2	2.57
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 3	M1-02	452.36	46132	210	15.2	1.81	254.23				5	
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 3	M1-03	457.4	46646	210	15.2	1.81	257.06				2	

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Renata V. Barahona  
 TECNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jenifer Kimber Ramos Diaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

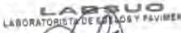

DIRECCION: LA COLINA. Nº381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA



CEL:969577841-975421091-912493920

 LABORATORIO DE ENLLOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – II ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	14/03/22	11/04/22	28	2	II - lco - AG - AF - 3 - FA25	M2-01	512.30	52244	210	15.2	1.80	289.82	287.19	28.16	137	5	4.49
2	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA25	M2-02	515.55	52576	210	15.2	1.81	289.74					
3	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA25	M2-03	495.20	50500	210	15.1	1.79	282.00					

  
 LABORATORIO DE ENLLOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jeniffer Ramos Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE ENLLOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jeniffer Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. Nº381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA



CEL: 969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS"			SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – II ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f <sub>c</sub>	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	14/03/22	11/04/22	28	2	II - lco - AG - AF - 3 - FA35	M3-01	533.35	54391	210	15.2	1.80	301.72	299.96	29.42	143	5	2.39
2	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA35	M3-02	535.41	54601	210	15.2	1.81	300.90				5	
3	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA35	M3-03	528.90	53937	210	15.2	1.81	297.24				5	

  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
  
 Ronald J. Herrera Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jander Kumbel Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. Nº381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN -  
CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN DE MUESTRAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO  
A.S.T.M. C 39 – MTC. E 704 – II ETAPA**

ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETA	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	f'c kg/cm <sup>2</sup>	Diametro cm	Área (mm <sup>2</sup> )	Resistencia Máxima kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Porcentaje f'c	Tipo Fractura	Desviación Estándar
1	14/03/22	11/04/22	28	2	II - lco - AG - AF - 3 - FA45	M4-01	555.10	56609	210	15.2	1.80	314.03	312.70	30.67	149	5	3.07
2	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA45	M4-02	550.15	56104	210	15.2	1.81	309.18				3	
3	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA45	M4-03	560.28	57137	210	15.2	1.81	314.88				3	


  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
  
 Amanda Patricia Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jenner Kinzel Ramos Diaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA, N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN -  
CAJAMARCA

CEL:969577841-975421091-912493920

### Anexo G – Resultados de ensayo resistencia a flexión – II Etapa.

 LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EG - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – I ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	21/11/21	19/12/21	28	1	I - lco - AG - AF - 3	V1-01	27.10	2764	50	50.0	15.00	15.00	750.00	40.94	37.81	3.71	3.59
2	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 3	V1-02	25.55	2606	50	50.0	15.00	15.00	750.00	38.60			
3	21/11/21	19/12/21	28		I - lco - AG - AF - 3	V1-03	22.43	2287	50	50.0	15.00	15.00	750.00	33.89			

LABSUC  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
*[Firma]*  
Jonathan José Herrera Barahona  
TECNICO LABORATORISTA

LABSUC  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
*[Firma]*  
Javier Humberto Ramos Díaz  
INGENIERO CIVIL  
CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA, Nº 381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"			SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – II ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg. /cm2	Resistencia Promedio kg. /cm2	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	14/03/22	11/04/22	28	2	II - lco - AG - AF - 3 - FA25	V2-01	29.36	2994	50	50.0	15.00	15.00	750.00	44.36	48.91	4.80	4.57
2	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA25	V2-02	32.35	3299	50	50.0	15.00	15.00	750.00	48.87			
3	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA25	V2-03	35.41	3611	50	50.0	15.00	15.00	750.00	53.50			

LABSUC  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jhonatan Díaz Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

LABSUC  
LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jander Coronel Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA, N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA

CEL:969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – II ETAPA**


ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área/cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg./cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	14/03/22	11/04/22	28	2	II - lco - AG - AF - 3 - FA35	V3-01	34.43	3511	50	50.0	15.00	15.00	750.00	52.02	50.98	5.00	1.83
2	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA35	V3-02	32.35	3299	50	50.0	15.00	15.00	750.00	48.87			
3	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA35	V3-03	34.46	3514	50	50.0	15.00	15.00	750.00	52.06			

LABSUC  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jhonatan Barahona  
 TECNICO LABORATORISTA

LABSUC  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
  
 Jennifer Ramos Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA. Nº381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA



CEL:969577841-975421091-912493920

 LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS	PROYECTO DE TESIS: "INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE ACERO TREFILADO DE ALTA CALIDAD EN LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO PERMEABLE PARA PAVIMENTOS RIGIDOS"				SOLICITANTE: ING. JUAN ANTONIO CORONEL DÍAZ
	ENSAYOS DE LABORATORIO	LSP22 - EC - 174	FECHA	NOVIEMBRE - 2022	

**MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZADO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A FLEXIÓN DEL CONCRETO ASTM C-78/78M – 10 (N.T.P. 339.078 – 2012) – II ETAPA**

ITEMS	Fecha Fabricación	Fecha Rotura	Edad (días)	ETAPA	IDENTIFICACION	IDENTIFICACION DE PROBETAS	Carga Rotura KN	Carga Rotura Kg.	Long. (cm)	Luz libre (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)	Área / cm <sup>2</sup>	Resistencia a la flexión kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio kg. /cm <sup>2</sup>	Resistencia Promedio MPa	Desviación Estándar
1	14/03/22	11/04/22	28	2	II - lco - AG - AF - 3 - FA45	V4-01	35.24	3594	50	50.0	15.00	15.00	750.00	53.24	51.77	5.08	1.54
2	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA45	V4-02	34.35	3503	50	50.0	15.00	15.00	750.00	51.90			
3	14/03/22	11/04/22	28		II - lco - AG - AF - 3 - FA45	V4-03	33.21	3387	50	50.0	15.00	15.00	750.00	50.17			

  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
  
 Román José Barahona  
 TÉCNICO LABORATORISTA

  
 LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS  
  
 Juan Antonio Coronel Díaz  
 INGENIERO CIVIL  
 CIP: 218809

DIRECCION: LA COLINA, N°381 A UNA CUADRA DEL MERCADO SOL DIVINO - JAEN - CAJAMARCA

CEL: 969577841-975421091-912493920

## Anexo H – Certificado de Indecopi y certificado de calibración de equipos.



PERÚ

Presidencia  
del Consejo de Ministros

INDECOPI

## Registro de la Propiedad Industrial

### Dirección de Signos Distintivos

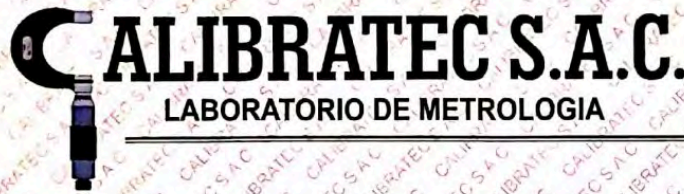
CERTIFICADO N° 00116277

La Dirección de Signos Distintivos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual – INDECOPI, certifica que por mandato de la Resolución N° 014173-2019/DSD - INDECOPI de fecha 28 de junio de 2019, ha quedado inscrito en el Registro de Marcas de Servicio, el siguiente signo:

Signo	:	La denominación LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS y logotipo (se reivindica colores), conforme al modelo
Distingue	:	Estudios de mecánica de suelos, concreto y asfalto
Clase	:	42 de la Clasificación Internacional.
Solicitud	:	0796363-2019
Titular	:	GROUP JHAC S.A.C.
País	:	Perú
Vigencia	:	28 de junio de 2029
Tomo	:	0582
Folio	:	091

RAY MELONI GARCIA  
Director  
Dirección de Signos Distintivos  
INDECOPI

**LABSUC**  
LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



# CALIBRATEC S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 022 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

<b>1. Expediente</b>	<b>0170-2022</b>	Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).
<b>2. Solicitante</b>	<b>LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.</b>	Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.
<b>3. Dirección</b>	Calle la Colonia Nro. 316 - Jaen - Jaen - Cajamarca	CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>	Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.
<b>Capacidad Máxima</b>	<b>30000 g</b>	El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.
<b>División de escala (d)</b>	<b>1 g</b>	
<b>Div. de verificación (e)</b>	<b>1 g</b>	
<b>Clase de exactitud</b>	<b>III</b>	
<b>Marca</b>	<b>OHAUS</b>	
<b>Modelo</b>	<b>R21P30</b>	
<b>Número de Serie</b>	<b>8342167622</b>	
<b>Capacidad mínima</b>	<b>20 g</b>	
<b>Procedencia</b>	<b>CHINA</b>	
<b>Identificación</b>	<b>NO INDICA</b>	
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2022-01-19</b>	

Fecha de Emisión

2022-01-19

Jefe del Laboratorio de Metrología

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

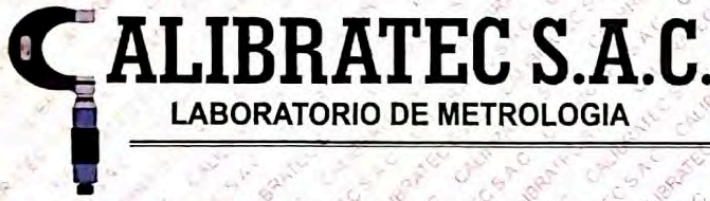
Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

Escaneado con CamScanner



# CALIBRATEC S.A.C.

## LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS  
RUC: 20606479680

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 022 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 2 de 4

#### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase III" del SNM- INACAL

#### 7. Lugar de calibración

Laboratorio de Masa de CALIBRATEC S.A.C.  
Avenida Chillon Lote 50 B - Comas - Lima

#### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	20.3 °C	20.3 °C
Humedad Relativa	51%	51%

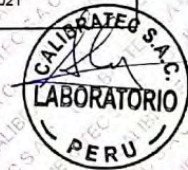
#### 9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
METROIL	JUEGO DE PESAS 10 kg (Clase de Exactitud: M1)	M-0687-2021
METROIL	JUEGO DE PESAS 20 kg (Clase de Exactitud: M1)	M-0688-2021
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 kg a 5 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0726-2021
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 mg a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0689-2021
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	T-1774-2021

#### 10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (\*\*) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

# CALIBRATEC S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 022 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

### 11. Resultados de Medición

#### INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	NO TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

#### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura Inicial Final  
20.3 °C 20.3 °C

Medición N°	Carga L1 = 15,000 g			Carga L2 = 30,000 g			
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	
1	15,000	600	-100	30,000	200	300	
2	15,000	500	0	30,000	500	0	
3	15,001	700	800	30,000	500	0	
4	15,000	500	0	29,999	200	-700	
5	15,000	600	-100	30,000	500	0	
6	15,000	500	0	30,001	700	800	
7	15,000	500	0	30,000	500	0	
8	15,000	200	300	30,000	800	-300	
9	14,999	300	-800	29,999	300	-800	
10	15,000	500	0	30,000	500	0	
Diferencia Máxima			1,600	Diferencia Máxima			1,600
Error Máximo Permisible			± 3,000	Error Máximo Permisible			± 3,000

#### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

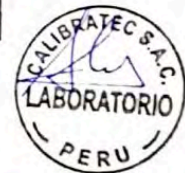
2	5
1	
3	4

Posición  
de las  
cargas

Temperatura Inicial Final  
20.3 °C 20.3 °C

Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero E <sub>0</sub>				Determinación del Error Corregido E <sub>c</sub>				
	Carga Mínima*	I (g)	ΔL (mg)	E <sub>0</sub> (mg)	Carga L (g)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	E <sub>c</sub> (mg)
1		10	500	0		10,001	800	700	700
2		10	400	100		10,000	500	0	-100
3	10 g	10	500	0	10,000	10,000	400	100	100
4		10	400	100		9,999	200	-700	-800
5		10	500	0		10,000	500	0	0
Error máximo permisible									± 3,000

\* Valor entre 0 y 10e



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

☎ Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

Escaneado con CamScanner

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**CA - LM - 022 - 2022**

 Área de Metrología  
 Laboratorio de Masas

Página 4 de 4

## ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	20.3 °C	20.3 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	I (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
10	10	500	0						
20	20	400	100	100	20	500	0	0	1,000
100	100	500	0	0	100	500	0	0	1,000
500	500	400	100	100	500	400	100	100	2,000
1,000	1,000	500	0	0	1,000	500	0	0	2,000
5,000	5,000	400	100	100	5,000	400	100	100	3,000
10,000	10,000	600	-100	-100	10,000	500	0	0	3,000
15,000	15,000	500	0	0	15,000	500	0	0	3,000
20,000	20,000	600	-100	-100	20,000	600	-100	-100	3,000
25,000	25,000	500	0	0	25,000	500	0	0	3,000
30,000	30,000	600	-100	-100	30,000	600	-100	-100	3,000

\*\* error máximo permisible

 Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.  
 I: Indicación de la balanza.

 ΔL: Carga adicional.  
 E: Error encontrado

 E<sub>0</sub>: Error en cero.  
 E<sub>c</sub>: Error corregido.

 Incertidumbre expandida de medición  $U = 2 \times \sqrt{(0.3787222 \text{ g}^2 + 0.0000000237 \text{ R}^2)}$ 

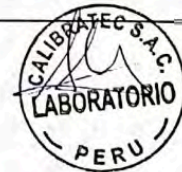
 Lectura corregida  $R_{\text{CORREGIDA}} = R - 0.0000032 R$ 

## 12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento


 ● 977 997 385 - 913 028 621  
 ● 913 028 622 - 913 028 623  
 ● 913 028 624

 ● Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
 ● comercial@calibratec.com.pe  
 ■ CALIBRATEC SAC

Escaneado con CamScanner



# CALIBRATEC S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 0193 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 1 de 4

<b>1. Expediente</b>	<b>04564-2022</b>
<b>2. Solicitante</b>	<b>LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.</b>
<b>3. Dirección</b>	<b>CALLE LA COLONIA NRO. 316 - JAEN - JAEN - CAJAMARCA</b>
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>
<b>Capacidad Máxima</b>	<b>620 g</b>
<b>División de escala (d)</b>	<b>0.01 g</b>
<b>Div. de verificación (e)</b>	<b>0.01 g</b>
<b>Clase de exactitud</b>	<b>III</b>
<b>Marca</b>	<b>OHAUS</b>
<b>Modelo</b>	<b>NV622ZH</b>
<b>Número de Serie</b>	<b>264972011</b>
<b>Capacidad mínima</b>	<b>0.2 g</b>
<b>Procedencia</b>	<b>CHINA</b>
<b>Identificación</b>	<b>NO INDICA</b>
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2022-05-16</b>

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2022-05-18

Jefe del Laboratorio de Metrología

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC



**CALIBRATEC S.A.C.**  
LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**CA - LM - 0193 - 2022**

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Masas*

Página 2 de 4

**6. Método de Calibración**

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM- INACAL

**7. Lugar de calibración**

En las instalaciones del cliente.

CALLE LA COLONIA NRO. 316 - JAEN - JAEN - CAJAMARCA

**8. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	26.6 ° C	26.6 ° C
Humedad Relativa	65%	65%

**9. Patrones de referencia**

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia	JUEGO DE PESAS 1 g a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0689-2021

**10. Observaciones**

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (\*\*) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC



# CALIBRATEC S.A.C.

## LABORATORIO DE METROLOGIA

### CALIBRACIÓN DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 0193 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

### 11. Resultados de Medición

#### INSPECCIÓN VISUAL

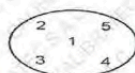
AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

#### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

	Inicial	Final
Temperatura	26.8 °C	26.8 °C

Medición Nº	Carga L1 = 300 g			Carga L2 = 600 g		
	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)
1	300.00	5	0	600.00	7	-2
2	300.01	9	6	600.00	6	-1
3	300.00	6	-1	600.00	5	0
4	300.00	7	-2	600.00	6	-1
5	299.99	2	-7	599.99	3	-8
6	300.00	5	0	600.00	5	0
7	300.00	7	-2	600.00	4	1
8	300.00	5	0	600.00	6	-1
9	300.00	5	0	600.00	4	1
10	300.00	6	-1	599.99	2	-7
	Diferencia Máxima		13	Diferencia Máxima		9
	Error Máximo Permissible		30	Error Máximo Permissible		30

#### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD



Posición  
de las  
cargas

	Inicial	Final
Temperatura	26.8 °C	26.8 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	l (g)	$\Delta L$ (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1	0.10	0.10	5	0	200.00	200.00	5	0	0
2		0.10	6	-1		200.01	9	6	7
3		0.10	6	-1		200.00	6	-1	0
4		0.10	5	0		200.00	5	0	0
5		0.11	7	8		200.00	4	1	-7
		Error máximo permisible							30

\* Valor entre 0 y 10e

☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

# CALIBRATEC S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 0193 - 2022

Página 4 de 4

### ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	26.8 °C	26.8 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
0.10	0.10	6	-1						
0.20	0.20	5	0	1	0.20	5	0	1	10
60.00	60.00	6	-1	0	60.00	5	0	1	20
120.00	120.00	7	-2	-1	120.00	4	1	2	20
150.00	150.00	6	-1	0	150.00	5	0	1	20
200.00	200.00	5	0	1	200.00	6	-1	0	30
250.00	250.00	6	-1	0	250.00	5	0	1	30
300.00	300.00	6	-1	0	300.00	5	0	1	30
400.00	400.00	5	0	1	400.00	6	-1	0	30
500.00	500.00	6	-1	0	499.99	2	-7	-6	30
600.00	600.00	5	0	1	600.00	6	-1	0	30

\*\* error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.  
l: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.  
E: Error encontrado

E<sub>0</sub>: Error en cero.  
E<sub>c</sub>: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0.000030 \text{ g}^2 + 0.0000000011 \text{ R}^2)}$$

Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R + 0.0000012 \text{ R}$$

### 12. Incertidumbre

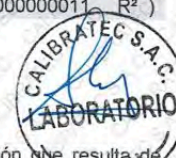
La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC





**CALIBRATEC S.A.C.**  
LABORATORIO DE METROLOGIA

**CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS**  
RUC: 20606479680

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**CA - LM - 0191 - 2022**

*Área de Metrología*  
*Laboratorio de Masas*

Página 1 de 4

<b>1. Expediente</b>	<b>04564-2022</b>
<b>2. Solicitante</b>	<b>LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.</b>
<b>3. Dirección</b>	<b>CALLE LA COLONIA NRO. 316 - JAEN - JAEN - CAJAMARCA</b>
<b>4. Equipo de medición</b>	<b>BALANZA ELECTRÓNICA</b>
Capacidad Máxima	<b>6200 g</b>
División de escala (d)	<b>0.1 g</b>
Div. de verificación (e)	<b>0.1 g</b>
Clase de exactitud	<b>III</b>
Marca	<b>OHAUS</b>
Modelo	<b>NVT6201ZH</b>
Número de Serie	<b>264972091</b>
Capacidad mínima	<b>2.0 g</b>
Procedencia	<b>CHINA</b>
Identificación	<b>NO INDICA</b>
<b>5. Fecha de Calibración</b>	<b>2022-05-16</b>

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.


Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2022-05-18

Jefe del Laboratorio de Metrología

  
MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
📌 CALIBRATEC SAC



# CALIBRATEC S.A.C.

## LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

#### CA - LM - 0191 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 2 de 4

#### 6. Método de Calibración

La calibración se realizó según el método descrito en el PC-001: "Procedimiento de Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase III y Clase IIII" del SNM- INACAL

#### 7. Lugar de calibración

En las instalaciones del cliente.  
CALLE LA COLONIA NRO. 316 - JAEN - JAEN - CAJAMARCA

#### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26.6 °C	26.6 °C
Humedad Relativa	65%	65%

#### 9. Patrones de referencia

Los resultados de la calibración son trazables a la Unidad de Medida de los Patrones Nacionales de Masa de la Dirección de Metrología - INACAL en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI) y el Sistema Legal de Unidades del Perú (SLUMP).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
METROIL	JUEGO DE PESAS 1kg a 5 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0726-2021
METROIL	JUEGO DE PESAS 1 mg a 1 kg (Clase de Exactitud: F1)	M-0689-2021
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL MARCA: BOECO	T-1774-2021

#### 10. Observaciones

- Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación de CALIBRADO.
- (\*\*) Código indicada en una etiqueta adherido al equipo.



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC



# CALIBRATEC S.A.C.

## LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

#### CA - LM - 0191 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 3 de 4

#### 11. Resultados de Medición

##### INSPECCIÓN VISUAL

AJUSTE DE CERO	TIENE	PLATAFORMA	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	SISTEMA DE TRABA	TIENE	CURSOR	NO TIENE
		NIVELACIÓN	TIENE		

##### ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Temperatura Inicial Final  
26.8 °C 26.8 °C

Medición Nº	Carga L1 = 3,000 g			Carga L2 = 6,000 g			
	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)	
1	3000.0	50	0	6000.0	50	0	
2	3000.0	60	-10	5999.9	20	-70	
3	3000.0	60	-10	6000.0	40	10	
4	3000.0	50	0	6000.1	80	70	
5	2999.9	20	-70	6000.0	60	-10	
6	2999.9	30	-80	6000.0	50	0	
7	3000.0	60	-10	6000.0	60	-10	
8	3000.0	60	-10	6000.0	50	0	
9	3000.0	50	0	6000.0	60	-10	
10	3000.0	60	-10	5999.9	20	-70	
Diferencia Máxima			80	Diferencia Máxima			140
Error Máximo Permissible			300.0	Error Máximo Permissible			300.0

##### ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

2	1	5
3		4

Posición de  
las cargas

Temperatura Inicial Final  
26.8 °C 26.8 °C



Posición de la Carga	Determinación del Error en Cero Eo				Determinación del Error Corregido Ec				
	Carga Mínima*	l (g)	$\Delta L$ (mg)	Eo (mg)	Carga L (g)	l (g)	$\Delta L$ (mg)	E (mg)	Ec (mg)
1		0.9	30	-80		1999.9	20	-70	10
2		1.0	50	0		2000.0	60	-10	-10
3	1.0	1.0	60	-10	2000.0	2000.0	40	10	20
4		1.0	50	0		2000.0	50	0	0
5		1.0	50	0		2000.1	80	70	70
Error máximo permisible									300.0

\* Valor entre 0 y 10e

☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

# CALIBRATEC S.A.C.

LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LM - 0191 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Masas

Página 4 de 4

### ENSAYO DE PESAJE

Temperatura	Inicial	Final
	26.8 °C	26.8 °C

Carga L (g)	CRECIENTES				DECRECIENTES				e.m.p ** (± mg)
	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	l (g)	ΔL (mg)	E (mg)	Ec (mg)	
1.0	1.0	50	0						
2.0	2.0	40	10	10	2.0	40	10	10	100
100.0	100.0	60	-10	-10	100.0	50	0	0	100
300.0	300.0	50	0	0	300.0	60	-10	-10	100
500.0	500.0	40	10	10	500.0	50	0	0	200
1000.0	1000.0	50	0	0	1000.0	60	-10	-10	200
2000.0	2000.0	60	-10	-10	2000.0	40	10	10	300
3000.0	3000.0	50	0	0	3000.0	50	0	0	300
4000.0	3999.9	20	-70	-70	4000.0	40	10	10	300
5000.0	4999.9	30	-80	-80	5000.0	60	-10	-10	300
6000.0	5999.9	20	-70	-70	5999.9	30	-80	-80	300

\*\* error máximo permisible

Leyenda: L: Carga aplicada a la balanza.  
l: Indicación de la balanza.

ΔL: Carga adicional.  
E: Error encontrado

E<sub>0</sub>: Error en cero.  
E<sub>c</sub>: Error corregido.

Incertidumbre expandida de medición

$$U = 2 \times \sqrt{(0.003788 \text{ g}^2 + 0.0000000009 \text{ R}^2)}$$

Lectura corregida

$$R_{\text{CORREGIDA}} = R - 0.0000113 R$$

### 12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura k=2, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Fin del documento

☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 084 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 1 de 5

1. Expediente	04564-2022
2. Solicitante	LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.
3. Dirección	CALLE LA COLONIA NRO. 316 - JAEN - JAEN - CAJAMARCA
4. Equipo	HORNO
Alcance Máximo	200 °C
Marca	ARSOU GROUP
Modelo	HR701
Número de Serie	202042
Procedencia	PERÚ
Identificación	NO INDICA
Ubicación	LABORATORIO DE MUESTRAS

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Descripción	Controlador / Selector	Instrumento de medición
Alcance	30 °C a 200 °C	30 °C a 200 °C
División de escala / Resolución	0.1 °C	0.1 °C
Tipo	CONTROLADOR ELECTRONICO	TERMÓMETRO DIGITAL

5. Fecha de Calibración 2022-05-16

Fecha de Emisión

2022-05-18

Jefe del Laboratorio de Metrología

MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 084 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 2 de 5

### 6. Método de Calibración

La calibración se efectuó por comparación directa con termómetros patrones calibrados que tienen trazabilidad a la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT 90), se consideró como referencia el Procedimiento para la Calibración de Medios Isotérmicos con aire como Medio Termostático PC-018; 2da edición; Junio 2009, del SNM-INDECOPI.

### 7. Lugar de calibración

Las instalaciones del cliente.  
CALLE LA COLONIA NRO. 316 - JAEN - JAEN - CAJAMARCA

### 8. Condiciones Ambientales

	Inicial	Final
Temperatura	26.5 °C	26.5 °C
Humedad Relativa	65 %	65 %

### 9. Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado y/o informe de calibración
MSG - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-038	TERMÓMETRO DE INDICACIÓN DIGITAL DE 10 CANALES TERMOPARES TIPO T - DIGISENSE	LTT21-0363
METROIL - LABORATORIO ACREDITADO REGISTRO: LC-001	THERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO MODELO: HTC-8	T-1774-2021



### 10. Observaciones

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación de **CALIBRADO**.
- La periodicidad de la calibración depende del uso, mantenimiento y conservación del instrumento de medición.



# CALIBRATEC S.A.C.

## LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 084 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

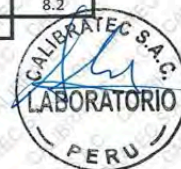
Página 3 de 5

#### 11. Resultados de Medición

Temperatura ambiental promedio 26.7 °C  
Tiempo de calentamiento y estabilización del equipo 2 horas  
El controlador se seteo en 110

#### PARA LA TEMPERATURA DE 110 °C

Tiempo (min)	Termómetro del equipo (°C)	TEMPERATURAS EN LAS POSICIONES DE MEDICIÓN (°C)										T prom (°C)	Tmax-Tmin (°C)
		NIVEL SUPERIOR					NIVEL INFERIOR						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00	110.0	107.1	106.9	105.8	109.0	105.8	107.0	112.3	113.9	107.1	111.5	108.6	8.1
02	110.0	107.1	107.5	105.8	108.6	105.8	107.1	111.9	114.2	107.1	111.3	108.6	8.4
04	110.0	106.9	107.4	105.8	108.6	105.8	107.2	112.4	114.0	106.9	111.6	108.7	8.2
06	110.0	107.0	107.4	105.5	108.6	105.5	107.1	112.5	114.3	107.0	111.2	108.6	8.8
08	110.0	107.1	107.3	105.7	109.0	105.7	106.9	112.4	114.1	107.1	111.3	108.7	8.4
10	110.0	107.0	107.4	105.3	108.6	105.8	107.3	112.3	114.1	107.0	111.4	108.6	8.8
12	110.0	107.1	107.5	105.5	108.6	105.5	106.7	112.4	114.3	107.1	111.3	108.6	8.8
14	110.0	106.9	107.3	105.5	109.0	105.5	106.6	112.7	114.1	106.9	111.4	108.6	8.6
16	110.0	107.0	107.5	106.1	108.6	106.1	106.7	112.5	114.4	107.0	111.8	108.8	8.3
18	110.0	107.1	107.3	106.3	109.0	106.3	106.8	112.6	114.3	107.1	111.0	108.8	8.0
20	110.0	107.1	107.2	106.2	108.6	106.2	106.7	112.3	114.2	107.1	110.9	108.6	8.0
22	110.0	107.1	107.1	106.1	108.6	106.1	107.1	112.7	114.4	107.1	111.5	108.8	8.3
24	110.0	106.9	107.3	106.2	108.6	106.2	107.5	112.6	113.9	106.9	111.4	108.7	7.7
26	110.0	107.0	107.3	106.5	108.6	106.5	107.5	112.3	114.1	107.0	111.3	108.8	7.6
28	110.0	106.9	106.9	106.3	108.6	106.3	107.7	112.6	114.2	106.9	111.4	108.8	7.9
30	110.0	107.0	107.0	106.4	109.0	106.4	107.7	112.5	114.3	107.0	111.5	108.9	7.9
32	110.0	107.1	107.6	106.4	108.6	106.4	107.5	112.7	114.4	107.1	111.5	108.9	8.0
34	110.0	107.0	107.3	106.3	109.0	106.3	107.5	112.6	114.1	107.0	111.3	108.8	7.8
36	110.0	107.1	107.3	106.2	108.6	106.2	107.8	112.3	114.2	107.1	111.1	108.8	8.0
38	110.0	107.1	107.3	106.3	108.6	106.3	107.2	112.4	114.1	107.1	111.2	108.8	7.8
40	110.0	106.9	107.4	106.4	109.0	106.4	107.4	112.4	114.3	106.9	111.2	108.8	7.9
42	110.0	107.0	106.9	105.9	108.6	105.9	106.7	112.8	114.4	107.0	111.0	108.6	8.5
44	110.0	107.0	107.5	106.7	108.6	106.7	106.8	112.7	114.2	107.0	111.4	108.9	7.5
46	110.0	107.1	107.3	106.7	108.6	106.7	106.8	112.7	114.1	107.1	111.3	108.8	7.4
48	110.0	107.1	107.4	106.6	109.0	106.6	106.7	112.3	114.0	107.1	110.9	108.8	7.4
50	110.0	106.9	107.2	106.3	108.6	106.3	106.5	112.4	114.1	106.9	111.3	108.6	7.8
52	110.0	107.0	107.3	106.4	108.6	106.4	106.7	112.5	114.4	107.0	111.5	108.8	8.0
54	110.0	107.1	107.2	106.2	108.6	106.2	106.5	112.7	114.2	107.1	111.7	108.7	8.0
56	110.0	107.1	107.0	106.4	108.6	106.4	107.2	112.6	114.0	107.1	110.9	108.7	7.6
58	110.0	106.9	107.4	106.3	109.0	106.3	107.2	112.4	114.4	106.9	111.7	108.8	8.1
60	110.0	107.0	107.5	106.1	108.6	106.1	107.5	112.4	114.3	107.0	111.7	108.8	8.2
T.PROM	110.0	107.0	107.3	106.1	108.7	106.1	107.1	112.5	114.2	107.0	111.3	108.7	
T.MAX	110.0	107.1	107.6	106.7	109.0	106.7	107.8	112.8	114.4	107.1	111.8		
T.MIN	110.0	106.9	106.9	105.3	108.6	105.5	106.5	111.9	113.9	106.9	110.9		
DTT	0.0	0.2	0.7	1.4	0.4	1.2	1.3	0.9	0.5	0.2	0.9		



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillón Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 084 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 4 de 5

PARÁMETRO	VALOR (°C)	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (°C)
Máxima Temperatura Medida	114.4	19.1
Mínima Temperatura Medida	105.3	0.1
Desviación de Temperatura en el Tiempo	1.4	0.1
Desviación de Temperatura en el Espacio	8.1	11.3
Estabilidad Medida (±)	0.7	0.04
Uniformidad Medida	8.8	11.3

- T.PROM : Promedio de la temperatura en una posición de medición durante el tiempo de calibración.  
 T.prom : Promedio de las temperaturas en la diez posiciones de medición para un instante dado.  
 T.MAX : Temperatura máxima.  
 T.MIN : Temperatura mínima.  
 DTT : Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "desviación de temperatura en el tiempo" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "desviación de temperatura en el espacio" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio del Medio Isotermo : 0.06 °C

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

La uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La Estabilidad es considerada igual a  $\pm 1/2$  DTT.

**Durante la calibración y bajo las condiciones en que ésta ha sido hecha, el medio isoterma SI CUMPLE con los límites especificados de temperatura.**

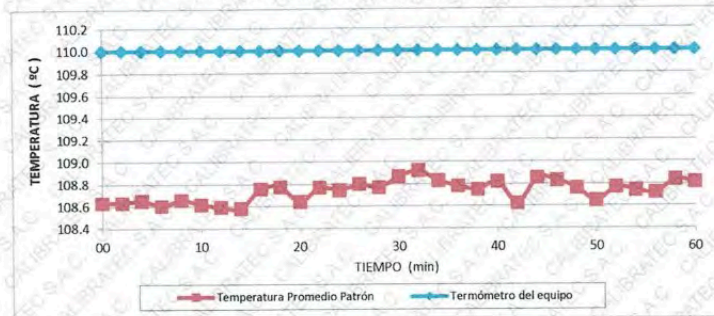


## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LT - 084 - 2022

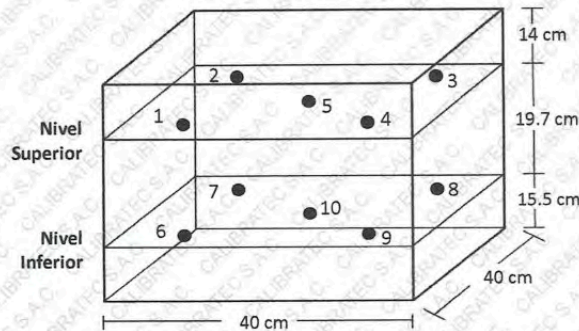
Área de Metrología  
Laboratorio de Temperatura

Página 5 de 5

### DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS EN EL EQUIPO TEMPERATURA DE TRABAJO: $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$



### DISTRIBUCIÓN DE LOS TERMOPARES



Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.

Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 se colocaron a 8 cm de las paredes laterales y a 8 cm del fondo y frente del equipo a calibrar.

#### 12. Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95%.

Fin del documento



# CALIBRATEC S.A.C.

## LABORATORIO DE METROLOGIA

CALIBRACIÓN DE  
EQUIPOS E INSTRUMENTOS

RUC: 20606479680

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LF - 0125 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 1 de 3

<b>1. Expediente</b>	04564-2022
<b>2. Solicitante</b>	<b>LABSUC LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS S.A.C.</b>
<b>3. Dirección</b>	CALLE LA COLONIA NRO. 316 - JAEN - JAEN - CAJAMARCA
<b>4. Equipo</b>	<b>PRESA DE CONCRETO</b>
<b>Capacidad</b>	100000 kgf
<b>Marca</b>	PERUTEST
<b>Modelo</b>	NO INDICA
<b>Número de Serie</b>	010
<b>Procedencia</b>	PERÚ
<b>Identificación</b>	NO INDICA
<b>Indicación</b>	DIGITAL
<b>Marca</b>	NO INDICA
<b>Modelo</b>	NO INDICA
<b>Número de Serie</b>	NO INDICA
<b>Resolución</b>	10 kgf
<b>Ubicación</b>	LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETO
<b>5. Fecha de Calibración</b>	2022-05-16

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, que realizan las unidades de la medición de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados son validos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamento vigente.

CALIBRATEC S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

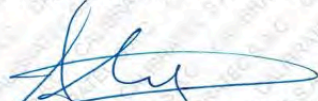
Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente sin la aprobación por escrito del laboratorio que lo emite.

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Fecha de Emisión

2022-05-18

Jefe del Laboratorio de Metrología

  
MANUEL ALEJANDRO ALIAGA TORRES

Sello



☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN**  
**CA - LF - 0125 - 2022**

 Área de Metrología  
 Laboratorio de Fuerza

Página 2 de 3

**6. Método de Calibración**

La calibración se realizó por el método de comparación directa utilizando patrones trazables al SI calibrados en las instalaciones del LEDI-PUCP tomado como referencia el método descrito en la norma UNE-EN ISO 7500-1 "Verificación de Máquinas de Ensayo Uniaxiales Estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Verificación y calibración del sistema de medida de fuerza." - Julio 2006.

**7. Lugar de calibración**

En las instalaciones del cliente.  
 CALLE LA COLONIA NRO. 316 - JAEN - JAEN - CAJAMARCA

**8. Condiciones Ambientales**

	Inicial	Final
Temperatura	26.0 °C	26.0 °C
Humedad Relativa	65 % HR	65 % HR

**9. Patrones de referencia**

Trazabilidad	Patrón utilizado	Informe de calibración
Celdas patrones calibradas en PUCP - Laboratorio de estructuras antisísmicas	Celda de Carga Código: PF-001 Capacidad: 150,000 kg.f	INF-LE N° 042-22 (B)
METROIL	TERMOHIGROMETRO DIGITAL BOECO	T-1774-2021

**10. Observaciones**

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación CALIBRADO.
- Durante la realización de cada secuencia de calibración la temperatura del equipo de medida de fuerza permanece estable dentro de un intervalo de  $\pm 2,0$  °C.
- El equipo no indica clase sin embargo cumple con el criterio para máquinas de ensayo uniaxiales de clase de 1.0 según la norma UNE-EN ISO 7500-1.



## CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN CA - LF - 0125 - 2022

Área de Metrología  
Laboratorio de Fuerza

Página 3 de 3

### 11. Resultados de Medición

Indicación del Equipo		Indicación de Fuerza (Ascenso) Patrón de Referencia			
%	$F_i$ (kgf)	$F_1$ (kgf)	$F_2$ (kgf)	$F_3$ (kgf)	$F_{promedio}$ (kgf)
10	10000	10050	10040	10050	10046
20	20000	20061	20046	20056	20039
30	30000	30049	30074	30079	30041
40	40000	40073	40083	40053	40055
50	50000	50069	50069	50069	50064
60	60000	60066	60061	60056	60059
70	70000	70105	70095	70100	70091
80	80000	80131	80131	80120	80105
90	90000	90182	90187	90182	90139
100	100000	100245	100240	100250	100167
Retorno a Cero		0.0	0.0	0.0	

Indicación del Equipo F (kgf)	Errores Encontrados en el Sistema de Medición				Incertidumbre U (k=2) (%)
	Exactitud a (%)	Repetibilidad b (%)	Reversibilidad v (%)	Resol. Relativa a (%)	
10000	-0.46	0.10	-0.05	0.10	0.35
20000	-0.20	0.07	0.26	0.05	0.37
30000	-0.13	0.10	0.37	0.03	0.39
40000	-0.14	0.07	0.18	0.03	0.35
50000	-0.13	0.00	0.04	0.02	0.34
60000	-0.10	0.02	0.01	0.02	0.34
70000	-0.13	0.01	0.04	0.01	0.34
80000	-0.13	0.01	0.11	0.01	0.34
90000	-0.15	0.01	0.20	0.01	0.35
100000	-0.17	0.01	0.31	0.01	0.37

MÁXIMO ERROR RELATIVO DE CERO ( $f_0$ )	0.00 %
---	--------

### 12. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura  $k=2$ , el cual corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95%. La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

☎ 977 997 385 - 913 028 621  
☎ 913 028 622 - 913 028 623  
☎ 913 028 624

📍 Av. Chillon Lote 50 B - Comas - Lima - Lima  
✉ comercial@calibratec.com.pe  
🏢 CALIBRATEC SAC



## Anexo I - Hoja técnica de las fibras de acero trefilado de alta calidad.



# HOJA TÉCNICA

## Sika® Fiber CHO 80/60 NB

Fibra de acero para refuerzo del concreto en losas y concreto pre-fabricado.

### DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Fiber CHO 80/60 NB son fibras de acero trefilado de alta calidad para reforzamiento del concreto usado en losas de concreto tradicional e industriales y elementos de concreto pre-fabricado, especialmente encoladas (pegadas) para facilitar la homogenización en el concreto durante el mezclado, evitando la aglomeración de las fibras individuales. Sika® Fiber CHO 80/60 NB son fibras de acero de alta relación longitud / diámetro (l/d) lo que permite un alto rendimiento con menor cantidad de fibra.

### USOS

Sika Fiber CHO 80/60 NB, otorga una alta capacidad de soporte al concreto en un amplio rango de aplicaciones; dándole ductilidad y aumentando la tenacidad del concreto.

En elementos de concretos pre-fabricados reforzados; en losas de pisos industriales (trafico alto, medio y ligero) en losas y cimientos de concreto para reemplazar el refuerzo secundario (malla de temperatura), en puertos, aeropuertos, fundaciones para equipos con vibración, reservorios, tanques, etc.

### CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Incrementa la resistencia del concreto al impacto, fatiga y a la fisuración.
- Incrementar la ductilidad y absorción de energía (resistencia a la tensión).
- Reducción de la fisuración por retracción.
- No afecta los tiempos de fraguado.
- Su condición de encolada (pegada) asegura una distribución uniforme en el concreto y shotcrete vía húmeda.
- Relación longitud / diámetro igual a 80 para un máximo rendimiento.
- Extremos conformados para obtener máximo anclaje mecánico en el concreto.

<b>NORMAS</b>	Sika® Fiber CHO 80/60 NB cumple con las normas ASTM A 820 "Steel Fibers for Reinforced Concrete" Tipo I y DIN 17140-D9 para acero de bajo contenido de carbono.
---------------	---

## DATOS BÁSICOS

<b>FORMA</b>	<b>PRESENTACIÓN</b> Sacos de papel x 20 kg.
<b>ALMACENAMIENTO</b>	<b>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL</b> Los sacos de Sika® Fiber CHO 80/60 NB pueden almacenarse por tiempo indefinido protegido de la humedad.
<b>DATOS TÉCNICOS</b>	<p>Longitud: 60 mm con extremos conformados.</p> <p>Diámetro de la fibra: 0.75 mm</p> <p>Relación longitud/ Diámetro: 80</p> <p>Resistencia a tracción: 1200 MPa min.</p> <p>Elongación de rotura: 4% max.</p>

## INFORMACIÓN DEL SISTEMA

<b>DETALLES DE APLICACIÓN</b>	<b>CONSUMO / DOSIS</b> Normalmente entre 10 y 45 kg de Sika® Fiber CHO 80/60 NB por m <sup>3</sup> de concreto. Se recomienda realizar ensayos previos para determinar la cantidad exacta de fibra de acero a utilizar de acuerdo a los índices de tenacidad ó energía absorbida especificada del concreto.
-------------------------------	--

<b>MÉTODO DE APLICACIÓN</b>	<p><b>MÉTODO DE LA APLICACIÓN</b></p> <p>Sika® Fiber CHO 80/60 NB se puede agregar en la tolva de pesado de la dosificadora de concreto, en la correa de alimentación, en camión mixer y mezcladora de concreto como a continuación se indica en cada caso:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En la tolva de pesado de la dosificadora, abra las bolsas y vacíe las fibras directamente entre los áridos; no agregue las bolsas sin abrir porque pueden bloquear las compuertas de descarga. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso.</li> <li>• En la correa de alimentación, si hay acceso, las fibras pueden adicionarse durante o después de agregar los áridos. Mezcle en forma normal, no se requiere tiempo extra de mezclado en este caso.</li> <li>• En el camión mixer, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras mientras el mixer de concreto está rotando a alta velocidad (12 rpm o más). Vaciar un máximo de 60 kg de fibras por minuto. Una vez terminado el vaciado de las fibras, mezclar 5 minutos adicionales y chequear visualmente su distribución; mezclar 30 segundos adicionales si la distribución no es uniforme.</li> </ul>
-----------------------------	---

- En la mezcladora de concreto, una vez que todos los ingredientes se han incorporado, agregar las fibras y mezclar por 30 segundos por cada pie cúbico a menos que se observe una distribución homogénea en menor tiempo.

#### OBSERVACIONES TÉCNICAS

No agregue Sika® Fiber CHO 80/60 NB al mezclador antes de los áridos. Las bolsas con papel hidrosolubles pueden agregarse directamente al concreto.

## INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

### PRECAUCIONES DURANTE LA MANIPULACIÓN

Evite el contacto directo con los ojos y la piel. Protéjase utilizando guantes y lentes de seguridad.

### 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 actual 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 Hoja Técnica 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 a la Edición N° 3**

**la misma que deberá ser destruida"**

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® Fiber CHO 80/60 NB :

1.- SIKÁ PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKÁ 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

Rede Yelva s.  
Sika® Fiber CHO 80/60 NB  
13 02 13 40000 4

Version ejemplada por: Sika Perú S.A.  
CG. Departamento Técnico  
Telf: 618-6050  
Fax: 618-6070  
Mail: informacion@ps.sika.com



© 2013 Sika Perú S.A.

