

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



Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N° 16

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

AUTOR

Jaime Octavio Campos Berru

ASESOR

Gian Franco Perez Garavito

<https://orcid.org/0000-0002-0745-8685>

Chiclayo, 2024

**Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con
adiciones de fibra de alambre reciclado N°16**

PRESENTADA POR

Jaime Octavio Campos Berru

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

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Manuel Alejandro Borja Suarez
PRESIDENTE

Luis Quiroz Quiñones
SECRETARIO

Gian Franco Perez Garavito
VOCAL

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mis padres, por su constante apoyo, consejos sabios y palabras de ánimo, así como por inculcarme valores fundamentales. A mi familia y a mis abuelos, Lila, Hilton y Adelinda, por preocuparse siempre por mi bienestar. En especial, a mi abuelo Octavio Campos Díaz, cuyo amor y ejemplo vivirán eternamente en nuestros corazones. Su legado de bondad, fortaleza y perseverancia me inspira diariamente. A todos ellos, les expreso mi más profundo agradecimiento por ser la base sólida sobre la cual he construido mi vida y mi carrera.

Agradecimientos

A Dios sobretodo por fortalecer mi alma en los momentos críticos de mi vida, dándome la sabiduría necesaria para tomar buenas decisiones. De manera especial, quiero agradecer al Ing. Gianfranco Perez Garavito, mi asesor, por su guía y dedicación, así como por involucrarse profundamente en esta investigación. A mis padres, por su apoyo incondicional en mi educación y en cada etapa de esta investigación, desde el principio hasta el final. Su amor y respaldo han sido fundamentales para alcanzar este logro, y por ello, les estoy eternamente agradecido.

TESIS.pdf

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

8%

2

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

3%

3

Submitted to Universidad Cesar Vallejo

Trabajo del estudiante

1%

4

repositorio.urp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

5

tesis.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

6

Submitted to Universidad Andina del Cusco

Trabajo del estudiante

<1%

7

www.dspace.uce.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

8

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

9

repositorio.upn.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

Índice

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Revisión de la literatura	18
Bases teóricas	29
Materiales y métodos	47
Resultados	83
Conclusiones	137
Recomendaciones	141
Referencias	143
anexos	147

Lista de ilustraciones

Ilustración 1. Fibras ensayadas, a) Fibra comercial b) Fibra de acero reciclado.....	21
Ilustración 2. Estructura de un pavimento flexible.....	29
Ilustración 3. Estructura de un pavimento rígido	30
Ilustración 4. Fisuras en losa aligerada por retracción plástica	33
Ilustración 5. Fisuras por asentamiento plástico ante barra.....	34
Ilustración 6. Ejemplo de fibras de diferentes formas	38
Ilustración 7. Fibra deformada	39
Ilustración 8. Microscopio comparador de fisuras	46
Ilustración 9. Tarjeta comparadora de fisuras	46
Ilustración 10. Extracción de alambre reciclado N° 16.....	56
Ilustración 11. Corte de alambre reciclado N° 16	57
Ilustración 12. Medición de las propiedades físicas de la fibra de alambre reciclado N° 16	57
Ilustración 13. Mediciones de las propiedades físicas de la fibra comercial.....	58
Ilustración 14. Realización de granulometría de agregados	59
Ilustración 15. Colocación al horno para determinar el contenido de humedad	62
Ilustración 16. Determinación del peso específico del agregado fino y grueso.	63
Ilustración 17. Verificación de slump de diseño 3-4"	70
Ilustración 18. Peso de materiales para el concreto.....	74
Ilustración 19. Medición de slump	74
Ilustración 20. Realización de probetas de concreto	75
Ilustración 21. Vaciado de concreto para vigas.....	76
Ilustración 22. Preparación y compactación del terreno.....	77
Ilustración 23. Dosificación de fibra y encofrado de losas.....	77
Ilustración 24. Vaciado de concreto para la evaluación de fisuras con retracción plástica.....	78
Ilustración 25. Ensayo de cono de abrams en campo	79
Ilustración 26. Anemómetro para medir la velocidad del viento y temperatura ambiental.....	80
Ilustración 27. Termómetro para medir la temperatura del concreto	80
Ilustración 28. Medición de la temperatura del concreto	80
Ilustración 29. Ficha de observación para la evaluación de fisuras.....	81
Ilustración 30. Tarjeta de medición de fisuras y grietas	81
Ilustración 31. Rotura de vigas en condiciones de laboratorio.....	82
Ilustración 32. Fisuras en Losa + 20 kg/m ³ fibra comercialIlustración 33. Fisuras en Losa + fibra acero Comercial 20 kg/m ³	85
Ilustración 34. Fisuras en Losa + 20 kg/m ³ fibra comercial	87
Ilustración 35. Fisuras en Losa + 20 kg/m ³ fibra comercial	88

Ilustración 36. Fisuras en Losa + 10 kg/m ³ fibra de alambre	90
Ilustración 37. Fisuras en Losa + 10 kg/m ³ fibra de alambre	91
Ilustración 38. Fisuras en Losa + 10 kg/m ³ fibra de alambre	92
Ilustración 39. Fisuras en Losa + 15 kg/m ³ fibra de alambre	94
Ilustración 40. Fisuras en Losa + 15 kg/m ³ fibra de alambre	95
Ilustración 41. Losa + 20 kg/m ³ fibra de alambre.....	97
Ilustración 42. Losa + 20 kg/m ³ fibra de alambre.....	98
Ilustración 43. Losa + 20 kg/m ³ fibra de alambre.....	99
Ilustración 44. Losa + 20 kg/m ³ fibra de alambre.....	100
Ilustración 45. CRR - Evaluación de fisuras	125
Ilustración 46. Longitud promedio de fisuras.....	128
Ilustración 47. Ancho de fisuras.....	129
Ilustración 48. Área de fisura promedio.....	131
Ilustración 49. Ensayo de propiedades mecánicas y químicas del alambre reciclado.....	148
Ilustración 50. Informe de Laboratorio - Contenido de humedad	149
Ilustración 51. Informe de Laboratorio - Peso específico y absorción.....	150
Ilustración 52. Informe de Laboratorio - Peso unitario del agregado grueso	151
Ilustración 53. Informe de Laboratorio - Peso unitario del agregado fino	152
Ilustración 54. Informe de Laboratorio – Granulometría del agregado grueso	153
Ilustración 55. Informe de Laboratorio - Granulometría del agregado fino	154
Ilustración 56. Informe de Laboratorio - Compresión.....	155
<i>Ilustración 57. Informe de laboratorio - Flexión</i>	<i>156</i>
Ilustración 58. Diseño de mezcla - Concreto patrón	157
Ilustración 59. Diseño de mezcla - C + 10 kg/m ³ alambre reciclado.....	158
Ilustración 60. Diseño de mezcla - C + 15 kg/m ³ alambre reciclado.....	159
Ilustración 61. Diseño de mezcla - C + 20 kg/m ³ alambre reciclado.....	160

Lista de gráficos

Gráfico 1. Curva granulométrica del agregado fino.....	60
Gráfico 2. Curva granulométrica del agregado grueso	61
Gráfico 3. Relación de reducción de fisuras (CRR) con respecto al concreto patrón.....	102
Gráfico 4. Variación de la longitud promedio de fisuras	105
Gráfico 5. Variación del ancho promedio de fisuras.....	106
Gráfico 6. Clasificación y cantidad de fisuras por dosificación kg/m ³	107
Gráfico 7. Área promedio de fisuras (mm ²)	108
Gráfico 8. Concreto con adición de Fibra de Alambre N°16 - 10 kg/m ³	109
Gráfico 9. Concreto Patrón con Fibra Comercial de acero 20kg/m ³	109
Gráfico 10. Concreto con adición de Fibra de Alambre N°16 - 20kg/m ³	109
Gráfico 11. Concreto con adición de Fibra de Alambre N°16 - 15kg/m ³	109
Gráfico 12. Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días.....	110
Gráfico 13. Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días.....	111
Gráfico 14. Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días.....	112
Gráfico 15. Resumen de resistencia a compresión / día.....	112
Gráfico 16. Módulo de rotura – Ensayo de flexión en vigas	115
Gráfico 17. Costo de fibra por 20kg.....	117
Gráfico 18. Costo de fibra por kg.....	117
Gráfico 19. Resumen de Análisis de precios unitarios.....	122
Gráfico 20. Análisis de costos unitarios en %	123

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de Fisuración según tiempo de aparición.....	33
Tabla 2. Clasificación de fisuras en función del ancho e impacto en la estructura.....	34
Tabla 3. Tipos, formas y periodo de aparición de fisuras y grietas en el concreto	35
Tabla 4. Dimensiones del alambre recocido	40
Tabla 5. Información y presentación del producto.....	41
Tabla 6. Población y muestra	49
Tabla 7. Población y muestra	49
Tabla 8. Población y muestra	50
Tabla 9. Población y muestra	50
Tabla 10. Operacionalización de variables.....	51
Tabla 11. Ficha de Observación para la evaluación de fisuras por contracción plástica del hormigón reforzado con fibras ASTM - C1579	53
Tabla 12. Matriz consistencia - Fuente: Elaboración propia.....	54
Tabla 13. Flujoograma de las etapas de desarrollo del proyecto	55
Tabla 14. Peso total de alambre a utilizar	56
Tabla 15. Propiedades físicas de la fibra de alambre reciclado N° 16	58
Tabla 16. Propiedades físicas de la fibra de acero comercial.....	58
Tabla 17. Propiedades mecánicas de la fibra de acero comercial	58
Tabla 18. Granulometría del agregado Fino.....	60
Tabla 19. Curva granulométrica del agregado grueso.....	61
Tabla 20. Contenido de humedad del agregado fino.....	62
Tabla 21. Contenido de humedad del agregado fino.....	62
Tabla 22. Diseño de mezcla para concreto con fibra de acero comercial (Patrón)	67
Tabla 23. Diseño de mezcla para concreto con fibra de alambre reciclado 10kg/m ³	68
Tabla 24. Diseño de mezcla para concreto con fibra de alambre reciclado 15kg/m ³	69
Tabla 25. Diseño de mezcla para concreto con fibra de alambre reciclado 20kg/m ³	70
Tabla 26. Peso final de materiales por m ³ de concreto.....	71
Tabla 27. Proporción de material por Bolsa de Cemento	71
Tabla 28. Proporción de material por balde de 0.015m ³	72
Tabla 29. Cálculo de volumen para moldes de probetas.....	73
Tabla 30. Materiales según volumen de concreto	73
Tabla 31. Cálculo de la dosis de fibra según volumen de concreto	73

Tabla 32. Cálculo de fibra para vigas.....	75
Tabla 33. Ficha de observación para le evaluación de fisuras - Concreto Patrón Fibra de acero Comercial 20 kg/m3	84
Tabla 34. Ficha de observación para le evaluación de fisuras - Concreto + 10kg/m3 Alambre reciclado N° 16.....	85
Tabla 35. Ficha de observación para le evaluación de fisuras - Concreto + 15kg/m3 Alambre reciclado N° 16.....	90
Tabla 36. Ficha de observación para le evaluación de fisuras - Concreto + 20kg/m3 Alambre reciclado N° 16.....	95
Tabla 37. Resumen de resultados de evaluación de fisuras por retracción plástica en el concreto.	97
Tabla 38. Relación de reducción de fisuras (CRR).....	102
Tabla 39. Propiedades físicas de la fibra de alambre reciclado N° 16.....	104
Tabla 40. Propiedades mecánicas y químicas de la fibra de alambre reciclado N° 16.....	104
Tabla 41. Longitud promedio de fisuras	105
Tabla 42. Ancho promedio de fisuras	106
Tabla 43. Clasificación y cantidad de fisuras.....	107
Tabla 44. Área promedio de fisuras (mm ²)	108
Tabla 45. Resultados - Ensayo de flexión en vigas.....	114
Tabla 46. Ensayos de Cono de Abrams.....	116
Tabla 47. Cuadro comparativo del costo de la fibra comercial de acero y fibra de alambre reciclado N° 16.....	117
Tabla 48. APU - Concreto $f'_c=280\text{kg/cm}^2$ con adición de 20kg/m ³ de fibra de acero comercial	118
Tabla 49. APU - Concreto $f'_c=280\text{kg/cm}^2$ con adición de 10kg/m ³ de fibra de alambre reciclado N°16 - 10kg/m ³	119
Tabla 50. APU - Concreto $f'_c=280\text{kg/cm}^2$ con adición de 15kg/m ³ de fibra de alambre reciclado N°16 - 15kg/m ³	120
Tabla 51. APU - Concreto $f'_c=280\text{kg/cm}^2$ con adición de 20kg/m ³ de fibra de alambre reciclado N°16 - 20kg/m ³	121

Resumen

La presente investigación, tiene como objetivo controlar el usual fenómeno de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido 280kg/cm² adicionando fibras de 5 cm de longitud de alambre reciclado N°16. Las fisuras en las losas de hormigón recién colocadas, causadas por la rápida pérdida de agua debido a factores ambientales como altas temperaturas, alta velocidad del viento y baja humedad, afectan su apariencia y pueden reducir la vida útil de la estructura si no se tratan a tiempo.

Esta investigación tiene un nivel de investigación explicativo y diseño experimental. La población para la evaluación de fisuras fue de 19.2m² y muestras de 4 losas de concreto de 4.8m² cada una con espesor uniforme de 0.15m, aplicando la técnica de observación directa mediante el uso de una ficha de observación como instrumento. Además, se evaluó la trabajabilidad, resistencia a compresión, flexión y análisis de precios unitarios para las diferentes muestras con adiciones en 10, 15 y 20 kg/m³ de alambre reciclado N° 16. Los resultados más favorables son incluyendo 20 kg/m³ de esta fibra, evidenciando una relación de reducción de fisuras (CRR) de 58.7%, reducciones del 70% en la incidencia de fisuras, 35.2% en la longitud promedio, 59.6% en el ancho promedio, 92% en el área total afectada y 75.56% en el área promedio de las fisuras en comparación con la losa de concreto reforzado con fibra de acero comercial CHO 65/35 NB en una proporción de 20 kg/m³.

Se determinó que las adiciones de 15 y 20 kg/m³ de fibra de alambre reciclado N°16 controla de manera superior las fisuras por retracción plástica en comparación con el uso de fibra de acero comercial.

Palabras clave: Fisura, retracción plástica, fibra de acero reciclado, concreto fibrorreforzado.

Abstract

The present research aims to control the usual phenomenon of plastic shrinkage cracking in 280kg/cm² rigid pavement by adding 5 cm long fibers of recycled wire No. 16. Cracks in newly placed concrete slabs, caused by rapid water loss due to environmental factors such as high temperatures, high wind speed and low humidity, affect their appearance and can reduce the service life of the structure if not treated in time.

This research has an explanatory research level and experimental design. The population for the evaluation of cracks was 19.2m² and samples of 4 concrete slabs of 4.8m² each with a uniform thickness of 0.15m, applying the direct observation technique using an observation sheet as an instrument. In addition, the workability, compressive strength, flexural strength and unit price analysis were evaluated for the different samples with additions of 10, 15 and 20 kg/m³ of recycled wire No. 16. The most favorable results are including 20 kg/m³ of this fiber, evidencing a crack reduction ratio (CRR) of 58.7%, reductions of 70% in crack incidence, 35.2% in average length, 59.6% in average width, 92% in total affected area and 75.56% in average crack area compared to the commercial steel fiber reinforced concrete slab CHO 65/35 NB at a ratio of 20 kg/m³.

It was determined that the additions of 15 and 20 kg/m³ of No. 16 recycled wire fiber had superior control of plastic shrinkage cracking compared to the use of commercial steel fiber.

Keywords: Cracking, plastic shrinkage, recycled steel fiber, fiber-reinforced concrete.

Introducción

Las fisuras por causa de la retracción plástica representan uno de los primeros indicios patológicos en las losas de hormigón recién colocadas, especialmente en los componentes planos, es decir, en las zonas de mayor exposición. Este fenómeno se manifiesta entre los 30 minutos y las 6 horas siguientes al vertido [1]. Su incidencia se debe al rápido agotamiento del agua de la mezcla, desencadenado por circunstancias ambientales y/o del hormigón como temperaturas elevadas, velocidad del viento alta, humedad relativa baja, entre otras. Esto se manifiesta cuando la evaporación sucede de manera muy veloz incluso superando a la velocidad en la que el agua de exudación puede reemplazarla. Este fenómeno puede delimitarse del siguiente modo: el ritmo de evaporación del agua supera el ritmo al que puede dispersarse el agua exudada, como se ha comentado anteriormente. En consecuencia, la superficie del hormigón se deseca e intenta contraerse, mientras que el hormigón interior permanece húmedo y se opone a la contracción. Esto instiga tensiones dentro del hormigón en su fase plástica, provocando que aparezcan fisuras por causa de la retracción plástica.[2]

Las fisuras, a pesar de su aspecto poco atractivo y de ser indicio de un trabajo deficiente, rara vez ponen en peligro la robustez y resistencia de suelos y pavimentos. [3] Sin embargo, si permiten la infiltración de agentes nocivos, pueden afectar a la integridad estructural y reducir la longevidad operativa de la infraestructura. Por ello, es imperativo gestionar, evaluar y prevenir la aparición de este suceso, para garantizar una viabilidad estructural prolongada y una duración operativa satisfactoria con gastos de mantenimiento reducidos.

Ha quedado en evidencia varios casos que ilustran esta problemática. Por ejemplo, el 2 de agosto de 2023, Elber Requejo, alcalde de la Municipalidad Distrital de José Leonardo Ortiz, Chiclayo, Perú, anunció a través de la página de Facebook de la entidad que no aceptaría la pavimentación de la Av. Jorge Chávez debido a la presencia de fisuras superficiales y otras deficiencias, lo que llevó a una demanda contra el Consorcio responsable de la obra. El 5 de enero de 2022, la Contraloría General de la República del Perú aplicó sanciones a la empresa contratista encargada de pavimentar las avenidas Héroes de Jactay y Circunvalación en Huánuco, una obra valorada en S/ 46 millones, debido a la presencia de fisuras y un desgaste prematuro del pavimento. Por otro lado, la Contraloría General de la República informó que el Gobierno Regional de Ancash aprobó el proyecto de mejoramiento de las veredas peatonales y vehiculares de las calles Fitzcarrald y Nueva Florida, ubicadas en el distrito de San Luis, provincia de Fitzcarrald, a pesar de las graves deficiencias encontradas en el pavimento y

veredas tales como fisuras y grietas, lo que ocasionó un perjuicio económico aproximado de S/ 173,549.28 para el organismo regional, lo anterior mencionado sucedió el 20/10/2021.

En un contexto internacional, en Dubai, Emiratos Árabes Unidos, el 22 de abril, la Autoridad de Carreteras y Transporte (RTA) difundió a través de sus canales oficiales en redes sociales su servicio "Madinati", una aplicación destinada a que los residentes de Dubai informen sobre daños relacionados con la infraestructura del transporte público, como grietas, fisuras, señales poco visibles, daños en semáforos, entre otros. [4]

En todo el mundo existen diversos métodos para paliar este fenómeno. Estos métodos incluyen barreras para disminuir la velocidad del viento y el empleo de sombrillas. Además, es aconsejable programar la colocación del hormigón durante las últimas horas de la tarde o por la noche. Antes del vertido, se recomienda humedecer ligeramente el subsuelo, el encofrado y el acero de refuerzo, mientras que después del vertido, se administran agentes de curado de membrana de acuerdo con las directivas descritas en ASTM C-389. En regiones con climas excesivamente cálidos y áridos, se utilizan atomizadores de agua para diseminar una fina niebla en la dirección del viento, acelerando el proceso de fraguado del hormigón. Para ejecutar la operación de vertido sin problemas, es imprescindible contar con mano de obra cualificada y equipos suficientes. Además, se propone contemplar la incorporación de fibras sintéticas, tal y como se delinea en ACI 302.1R.04 para la construcción de suelos y losas de hormigón, para combatir la fisuración por retracción plástica.

La ACI 544.1R-96 señala que desde tiempos antiguos se ha utilizado fibras para mejorar las características de materiales frágiles. Por ejemplo, las civilizaciones mesopotámicas utilizaban mezclas de arcilla reforzadas con paja como armadura estructural, y los antiguos egipcios agregaban paja a los ladrillos de arcilla para mejorar su cohesión. Además, las civilizaciones inca y maya incorporaban fibras vegetales en su cerámica para prevenir la formación de grietas durante el secado al sol.

La historia del concreto se remonta al "opus caementicium", una técnica de construcción empleada por los antiguos romanos que se basaba en el uso de cal aérea para producir morteros de construcción. Desde entonces, se han agregado adiciones de fibras al hormigón para mejorar sus propiedades y reducir las grietas y fisuras. Estas fibras solían estar hechas de paja, hilachas de madera o pelo de animales.

En la década de 1960, Estados Unidos realizó investigaciones pioneras sobre las adiciones de las fibras de acero para el uso en el concreto, a partir de este acontecimiento se ha incrementado las investigaciones que respaldan su uso y aplicación en losas de carreteras, pavimentos, materiales y productos de hormigón. El comité ACI, en su informe referente al hormigón reforzado con fibras (544.1R-96) menciona, que el primer pavimento comercial de con adición es de fibra de acero en Estados Unidos se instaló en agosto de 1971 en una estación de pesaje de camiones cercana a Ashland, Ohio. En ese mismo año, el laboratorio de ingeniería de del Ejército de EE.UU. llevó a cabo pruebas en losas de pavimento rígido adicionando fibras de acero (HRFA) bajo cargas de ruedas de aviones C5A. Esta investigación impulsó a la Administración Federal de Aviación a formular un manual de diseño para el hormigón reforzado con fibras de acero adaptado a las aplicaciones de pavimentos aeroportuarios. Un caso ejemplar de utilización de pavimentos industriales de HRFA se observa en la planta de automóviles de Honda en Alliston, Ontario, Canadá, donde se utilizó una superficie total de 74.000 metros cuadrados, de los cuales 54.000 metros cuadrados se destinaron a la losa de cimentación. Esta losa de cimentación, con un espesor de 150 mm, incorpora un refuerzo de fibra de acero de 20 kg/m³, lo que demuestra cómo la integración de fibras mejora diversos atributos del hormigón, como la resistencia a la tracción, y mitigación de grietas y fisuras derivadas de la contracción plástica, así como sus características térmicas, la resistencia al impacto y fuego.

En la actualidad, el uso de fibras en el concreto está regulado en el Perú por la Norma Técnica Peruana (NTP) 339.204, que clasifica al reforzado con fibras de acero como Tipo I. Estas fibras se utilizan ampliamente en pisos, pavimentos y elementos prefabricados para prevenir la formación de fisuras y reemplazar la malla electrosoldada o el acero de refuerzo. También se utilizan en elementos aligerados para reducir la fisuración en estado fresco, así como en diversas estructuras como tuberías, vigas, losas, pilotes, postes y ladrillos. [5]

Por otro lado, en países subdesarrollados como el nuestro, Perú, se observa un aumento significativo en la generación de RCD. Esto se debe al crecimiento urbano y poblacional, que impulsa la construcción de nuevas edificaciones, generando una gran cantidad de RCD que no son adecuadamente tratados ni gestionados.

En [6], se examina el porcentaje de desperdicio de diversos materiales, durante la ejecución de construcciones, tales como cemento, acero, agregados, concreto, madera, entre otros. Se ha encontrado que, en promedio, un 18.67% del material de interés, el acero, se desperdicia durante

la ejecución de una obra de una obra, según tres estudios diferentes.

En proyectos locales, he podido observar un elevado índice de desperdicio de alambre, el cual se utiliza para encofrados y como refuerzo de acero. Esto genera una cantidad considerable de desperdicios y residuos en la etapa de ejecución.

La presente investigación se llevó a cabo siguiendo el método científico, que implica formular una hipótesis después de identificar el problema, ponerla a prueba mediante experimentación y llegar a una conclusión. En este estudio, se añadió fibra de alambre reciclado N° 16 a un concreto de resistencia 280 kg/cm², un material innovador y respetuoso con el medio ambiente. El Comité ACI, en la norma 224.1R-07, detalla las causas, control, evaluación y métodos de reparación de fisuras. Para esta investigación, se diseñaron tramos de prueba para evaluar el fisuramiento mediante observación directa, como indica la norma. Se monitoreó la aparición de fisuras durante el tiempo de fraguado y se establecieron resultados después de un análisis estadístico.

Desde el punto de vista técnico, la adición de fibras de alambre reciclado N° 16 en pavimentos rígidos de resistencia 280 kg/cm² representa una excelente alternativa y un proceso constructivo efectivo para controlar la fisuración temprana del concreto y garantizar su durabilidad.

En el aspecto práctico, esta investigación nos permitirá conocer cuantitativamente la reducción de las fisuras por retracción plástica en pavimentos rígidos de 280 kg/cm² al agregar fibras de alambre reciclado N° 16. Además, determinaremos el contenido óptimo de este material mediante la ejecución de 4 losas de pavimento rígido, añadiendo fibras en pesos de 10 kg/m³, 15 kg/m³ y 20 kg/m³ respectivamente, ofreciendo así una alternativa eficaz para controlar las fisuras.

Desde el punto de vista social, esta investigación nos brindará información sobre la dosificación óptima de fibras de alambre reciclado N° 16 para controlar las fisuras por el fenómeno ya mencionado, lo que constituirá una práctica constructiva beneficiosa para futuras obras en nuestra sociedad, asegurando la durabilidad, calidad y aspecto de los pavimentos.

En términos ambientales, es relevante destacar que las industrias metalúrgicas producen acero mediante la utilización de chatarra como materia prima en el proceso del Horno Eléctrico. Este recurso, considerado residuo por muchos, se recicla y se le da una segunda vida. Con esta investigación, también se reutilizarán los residuos de alambre N° 16 generados en y fuera de las obras, lo que reducirá el impacto ambiental negativo y promoverá una economía circular al

reciclar y dará un uso productivo a estos materiales en obras civiles.

Por último, se realizará un análisis económico comparativo entre el uso de fibra comercial y fibra de alambre reciclado además del análisis de precios unitarios, que, de ser favorable, reducirá costos y sentará las bases para la reutilización de fibras de alambre reciclado N° 16 en el concreto y su comercialización.

Por todas estas razones, es fundamental llevar a cabo esta investigación para que sea base y guía para próximos estudios que ahonden en el uso de fibras de alambre reciclado N° 16 como adición al concreto.

Finalmente se plantearon objetivos, los cuáles permitirán responder las hipótesis planteadas, siendo el objetivo general: “Controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N°16”. Para lograr ello se plantearon los siguientes objetivos específicos: “Determinar la dosificación óptima de fibra de alambre reciclado N° 16 para controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido.”, “Determinar la relación de reducción de fisuras (CRR) por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16”, “Caracterizar las fibras de alambre reciclado N° 16 para controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido.”, “Elaborar losas de concreto fibrorreforzadas con alambre reciclado N° 16 adicionando dosificaciones de 10, 15 y 20kg/m³ vs concreto patrón con fibra comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB para evaluar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido.”, “Calcular la variación de la longitud de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16”, “Determinar la variación del ancho de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16”, Cuantificar la variación del área de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16.

Revisión de la literatura

Al día de hoy, existen estudios relacionados a la adición de fibras a continuación presentaremos los siguientes:

Antecedentes internacionales

- **M. Maj y A. Ubysz, «Fisuración de losas de cimentación mixtas de hormigón reforzado con fibras por retracción».**

[7] El siguiente artículo tiene como objetivo exponer los errores más comunes en cuanto a la aparición de agrietamiento generado por esfuerzos de retracción. Asimismo, define y diferencia la retracción química, retracción plástica, retracción por secado y retracción autógena.

El texto describe tres variedades de suelos de hormigón: dos están muy fisurados, mientras que uno carece de fisuras. El segundo suelo es una capa de hormigón de 16 cm de grosor, moldeada "húmedo sobre húmedo" sobre una losa base de 40 cm de grosor. Estos dos componentes se combinan para formar una única losa base monolítica de unos 60 cm de grosor.

Aclara que la contracción química es el resultado de una reducción del volumen de los productos de la hidratación del cemento en comparación con el volumen de los materiales originales. Las deformaciones son considerablemente menores que las de la producidas por contracción plástica.

Además, explica que la retracción plástica se produce poco después de verter el hormigón en la estructura. El proceso de hidratación del cemento provoca una disminución del volumen del hormigón debido a la evaporación del agua del hormigón, lo que da lugar a fracturas.

La contracción que se produce después de que la mezcla de hormigón haya fraguado y endurecido, debido a la pérdida de agua superficial, se denomina contracción por secado. Esta generalmente ocurre en los primeros meses y disminuye con el tiempo.

La retracción autógena es un fenómeno importante en el hormigón joven. Con proporciones bajas de agua/cemento, inferiores a aproximadamente 0,42, toda el agua se incorpora rápidamente al proceso de hidratación y la demanda de más agua crea capilares muy finos. La tensión superficial dentro de los capilares provoca una retracción autógena, que también puede provocar grietas. Esto se puede evitar en gran medida manteniendo la superficie del hormigón continuamente húmeda.

Llegando a la **conclusión** que ignorar los esfuerzos causadas por la retracción del hormigón provoca grietas en los suelos de hormigón. Las tensiones de retracción se superponen a las tensiones debidas a las fuerzas internas de las cargas sobre la estructura; son cantidades aditivas. Para suelos macizos se deben tener en cuenta las tensiones de tracción cercanas a la superficie,

las denominadas tensiones 'autoequilibradas' o 'propias', que dependen de la diferencia de humedad en el grosor de la losa. El caso de bloquear la retracción libre del hormigón mediante condiciones de contorno estáticas dadas también debe considerarse durante los cálculos de construcción de losas. Cuando se emplea refuerzo disperso, es esencial asegurarse de que se reparta de manera homogénea a través de todo el volumen del concreto.

- **X. Qin y S Kaewunruen «Hormigón reforzado con fibra de acero reciclado respetuoso con el medio ambiente», *Construction and Building Materials*, vol. 327, p. 126967, abr. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126967.**

El siguiente artículo de revista académica, X. Qin y S. Kaewunruen, [8] pretende analizar el papel de los materiales reutilizados en el ámbito de la construcción. Para lograr este objetivo, el estudio realiza un examen exhaustivo de más de 140 artículos académicos. Para ello propone el uso de fibras de neumático reciclado y los compara con fibra de acero convencionales existentes en el mercado.

Tras una exhaustiva investigación, se extrajeron las siguientes deducciones: la resistencia a tracción exhibida por las fibras de neumático reciclado es marginalmente inferior al doble de la de sus homólogas comerciales. La trabajabilidad del hormigón muestra una correlación inversa con la cantidad de fibras de acero recicladas, mientras que las fibras de acero comerciales impiden la trabajabilidad en mayor medida. Este problema puede mitigarse añadiendo un superplastificante y utilizando áridos más finos. En cuanto al contenido de aire, las fibras de neumáticos recicladas superan a las comerciales debido a sus diversos tamaños y características físicas, lo que facilita el relleno de huecos.

La resistencia del hormigón aumenta con el contenido de fibras, hasta un umbral del 0,5%. Más allá de este umbral, la mejora cesa y la resistencia disminuye debido a la proliferación de huecos entre las fibras de acero recicladas y el cemento. Unas técnicas de vibración adecuadas o la adopción de un hormigón autocompactante pueden mejorar el tamaño de los huecos y, en consecuencia, aumentar la resistencia a la compresión.

Las fibras de neumáticos recicladas muestran una eficacia encomiable a la hora de mitigar el agrietamiento del hormigón. También mejora la resistencia a la flexión. Destacan en el control de las microfisuras, aunque las fibras de acero comerciales resultan más eficaces para reducir las macrofisuras debido a su mayor tamaño.

La utilización de fibras de acero recicladas subraya su importancia para el desarrollo

sostenible. Además, el costo de las fibras recicladas es sólo una cuarta parte del de las comerciales, lo que supone un ahorro potencial de más de 38 euros/m³.

- **N. Yousefieh, A. Joshaghani, E. Hajibandeh, y M. Shekarchi, «Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete».**

En [9] los autores intentan evaluar el impacto de varios tipos de fibras, que abarcan polímeros y acero, en el control de las grietas y fisuras por contracción de secado en estructuras de hormigón.

Para lograr este objetivo, idearon cuatro composiciones de hormigón distintas: una desprovista de fibras y el resto fortificadas con fibras de acero, polipropileno y poliolefina. Posteriormente, sometieron estas mezclas a rigurosas pruebas, evaluando la resistencia a la compresión, la retracción por secado restringida (según ASTM C1581) y la retracción por secado no restringida (según ASTM C157).

Los resultados indican que la adicionar fibras al hormigón no tiene mejoras insignificantes en la resistencia a la compresión. En particular, el concreto con fibras de acero presenta un mejor comportamiento a la contracción por secado. Esto puede atribuirse al mayor módulo de elasticidad inherente a las fibras de acero, que influye directamente en los resultados del ensayo.

Además, el hormigón reforzado con fibras de acero, polipropileno y poliolefina presenta una reducción media de la anchura del setenta y dos, cuarenta y cinco y treinta y dos por ciento, respectivamente, en comparación con el hormigón normal.

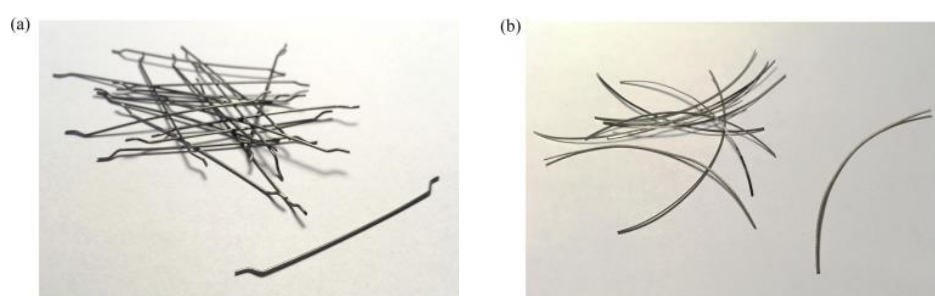
En cuanto a la longitud de propagación de las grietas, el hormigón con fibras añadidas experimenta una mayor expansión. Además, las fibras contribuyen a retrasar el inicio de las grietas, como demuestra la aparición de la primera grieta de contracción por secado a las 144 horas en el hormigón reforzado con fibras, frente al plazo de 48 horas observado en el hormigón estándar.

- **F. Grzymiski, M. Musiał, y T. Trapko, «Mechanical properties of fibre reinforced concrete with recycled fibres», *Construction and Building Materials*, vol. 198, pp.**

El estudio esbozado en [10] busca investigar la eficacia de las fibras de acero reutilizadas (derivadas de descartes de mecanizado) para mejorar la flexibilidad del hormigón. Esto se consigue mediante una evaluación exhaustiva de las características mecánicas tanto del hormigón reforzado con fibras como del hormigón tradicional, abarcando parámetros como la resistencia a la flexión, a la compresión y a la tracción.

Se analizó concretos con fibras de acero comerciales tipo gancho y fibras de acero provenientes de neumáticos

Ilustración 1. Fibras ensayadas, a) Fibra comercial b) Fibra de acero reciclado



Fuente: [10]

Las fibras recicladas propuestas (denominadas "b") se sometieron a un análisis que reveló una forma de sección transversal casi rectangular. Su anchura media era de 0,86 mm y su altura de 0,37 mm. Estas fibras, procedentes de procesos de mecanizado, se segmentaron en longitudes que oscilaban entre 45 y 50 mm, lo que dio como resultado una relación de aspecto de 75. Durante las pruebas de tracción, estas fibras mostraron una resistencia relativamente alta de 581,4 MPa. Sin embargo, esta resistencia no era constante, como indicaba un coeficiente de variación del 25,6%. Además, se observó que, a diferencia de las fibras de acero típicas, las fibras recicladas mostraban una propensión a la fractura bajo flexión, lo que subraya su plasticidad y resistencia a la fatiga limitadas.

El análisis posterior a las pruebas finalmente llega a la conclusión que las fibras de acero recicladas no contribuyen significativamente a la eficacia estructural, ya que no mejoran las propiedades mecánicas del hormigón.

- J. C. Moya y L. F. C. Lara, «Análisis de las prioridades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado», *INGENIO*, vol. 1, n. o 2, Art. n. °2, feb. 2019.

El siguiente artículo de revisión, J. C. Moya y L. F. C. Lara [11], tuvieron como objetivo brindar información técnica acerca de las fibras metálicas recicladas y analizar si estas pueden reemplazar a las fibras metálicas que se comercializan en el mercado como fibra para mejorar ciertas características del hormigón, analizando un concreto sin adición de fibra, con adición de fibra metálica comercial y con fibras metálicas recicladas, finalmente llegaron a la conclusión que:

Añadir fibras mejora la resistencia a compresión no es necesario debido a que el concreto absorbe estos esfuerzos axiales, en comparación con el esfuerzo de tracción el cuál si requiere fibras ya que este esfuerzo actúa perpendicularmente a la carga ocasionando fisuras, grietas y fallas.

El concreto con fibras metálicas recicladas tiene mejor comportamiento en la resistencia a la compresión, el concreto con fibra recicladas se incrementó en 30.70% con respecto al concreto sin fibra y 22.28% con respecto al concreto con fibras comerciales.

En cuanto a la resistencia a la tracción indirecta, las fibras metálicas recicladas tienen resultados más favorables. El concreto con estas fibras presentó un aumento del 39.08% en comparación con el concreto sin fibras (estándar) y un 11.64% más en comparación con fibras metálicas comerciales. Las fibras recicladas mostraron un mejor desempeño debido a su forma helicoidal y su rugosidad, en contraste con las fibras metálicas comerciales y el concreto simple.

Por otro lado, las fibras comerciales es la que tiene mayor módulo de rotura, superando en un 25.14% al concreto sin fibras y en un 5.90% al concreto con fibras metálicas recicladas.

En términos de módulo de elasticidad, las fibras metálicas recicladas superaron en un 4.46% al concreto sin fibras y en un 3.64% al concreto con fibras metálicas comerciales.

Además, se analizó la adherencia entre la fibra y el concreto, observándose que las fibras metálicas recicladas proporcionan un mejor confinamiento al concreto y aumentan la fricción con la fibra de refuerzo. El concreto con fibras metálicas recicladas presentó un 42.45% más de adherencia que el concreto sin fibras y un 2.94% más que el concreto con fibras comerciales.

- **G. S. Cacoango Cando y M. S. Millingalli Vega, «Eficiencia del Control de Fisuramiento por Retracción Plástica del Hormigón mediante el uso de Fibra de Acero 4D», bachelorThesis, Quito: UCE, 2019. Accedido: 1 de junio de 2023.**

G. S. Cacoango Cando y M. S. Millingalli Vega en su investigación [12], se plantea como **objetivo** evaluar cuán efectivo es añadir fibra de acero 4D en el hormigón para controlar y mitigar las fisuras para ello evaluó a través de la norma ASTM C 1579 – 13, para alcanzar el objetivo, se fabricó un equipo para simular las condiciones ambientales y poner a prueba paneles de concreto con fibra y sin la adición de acero 4D. El ensayo tuvo una duración de seis horas para evaluar las grietas por retracción plástica, las cuales se produce cuando la evaporación supera 1 kg/m²/h, según la normativa. En esta investigación, el rango de evaporación estuvo entre 1.43 y 1.88 kg/m²/h, lo que es un parámetro que garantiza la rápida aparición de este fenómeno, es decir, las grietas por retracción plástica.

Según el autor, la reducción de fisuras es más efectiva con dosificaciones bajas de fibra, de 15 a 20 kg/m³, para una relación 0.60 de agua/cemento, en comparación con dosificaciones altas, de 20 a 30 kg/m³, para relaciones agua-cemento bajas. En un concreto estándar sin fibra, la fisuración comienza a las dos horas y finaliza a las cuatro horas. En contraste, en un concreto con adición de fibra de acero, las fisuras empiezan a las dos horas y duran aproximadamente una hora. Para todas las relaciones agua-cemento, un mayor contenido de fibra de 15, 20 y 30 kg/m³ disminuye las fisuras.

- **S. Constante Parra, «Comparación técnico económica del comportamiento a la retracción y temperatura del hormigón de losas tipo Deck, utilizando fibras de acero vs. malla de acero electrosoldada», bachelorThesis, PUCE – Quito, 2019.**

[13] Este estudio busca comparar técnica y económicamente el comportamiento a la retracción plástica y las variaciones de temperatura en losas de hormigón tipo deck, analizando específicamente el uso de fibras de acero en comparación con malla electrosoldada de acero. Esta comparación pretende evaluar la eficacia potencial de la sustitución de la malla electrosoldada en el sistema de forjados mixtos por fibras de acero Dramix. Finalmente los resultados revelaron que la incorporación de fibras de acero dio lugar a una reducción de las grietas en un 56,02% en las primeras 24 horas y en un 58,91% después de 7 días. Concluyendo que una dosis de 12 kg/m³ de fibras de acero controla mejor y eficazmente la fisuras por retracción plástica en el hormigón.

Antecedentes nacionales

- **W. L. Villarroel Cancho, «Propiedades del concreto $f'c$: 210kg/cm² adicionando material reciclado alambre No8, edificio multifamiliar San Borja Sur, San Borja – 2021», *Repositorio Institucional – UCV, 2021***

[14] La presente investigación consiste en determinar cuánto influye añadir alambre reciclado #8 en un concreto 210 kg/cm², W. Villarroel elaboró 72 probetas cilíndricas y 36 probetas tipo viga, comparando un hormigón estándar con el experimental. Posteriormente se pudo conocer que los resultados obtenidos de la resistencia a la compresión fueron favorables y aumentaba con el mayor contenido de alambre reciclado n° 8 con espiga. En comparación con el hormigón ordinario, las dosificaciones de 5% (6,33kg/m³), 2% (8,44kg/m³) y 2,5% (10,26kg/m³) aumentaban en 2,87%, 5,30% y 8,30%, respectivamente.

Por otra parte, de los ensayos de resistencia a tracción se supo que aumenta a mayor material de alambre reciclado N° 8 siendo la dosificación 3 la óptima, ya que la dosificación 1 de 1.5% (6.33kg/m³), aumenta en 7.10%, para la dosificación 2 de 2% (8.44kg/m³), aumenta en 14.77%, y para la dosificación 3, 2.5% (10.26kg/m³) en 22.73% con respecto al concreto estándar.

Finalmente, también la resistencia a flexión aumenta al aumentar el contenido de alambre reciclado N° 8, en cuanto a la trabajabilidad para la dosificación 1 y 3 el slump se mantiene en 7 pulgadas y para la dosificación 2 en 6 pulgadas, manteniendo una consistencia adecuada para la correcta trabajabilidad. Por último, la segregación no se altera para ninguna dosificación de alambre reciclado N° 8

- **J. V. Bellido Prado, «Influencia de las fibras de alambre reciclado en el pavimento del concreto $f'c = 300\text{kg/cm}^2$, A v. Javier Pérez, Ayacucho – 2021», *Repositorio Institucional – UCV, 2021***

[15] Este estudio busca analizar añade fibras de alambre reciclado #16 en longitud de 5cm en pavimento rígido $f'c = 300\text{kg/cm}^2$, en las siguientes dosificaciones: 15kg/m³, 20kg/m³ y 25kg/m³

Realizó ensayos de compresión, veinticuatro ensayos de flexión y 4 de asentamiento, teniendo resultados positivos respecto a un concreto patrón.

Llegó a la conclusión, que la resistencia a la compresión arroja aumentó 59,69%, flexión en un 12,47% en comparación con el diseño, aconsejando que se utilice más fibra de alambre

reciclada que 25 kg/m³ y superplastificante para favorecer la trabajabilidad.

Además se determinó que el asentamiento disminuía al incrementar el porcentaje o adición de fibras, por lo que se aconseja utilizar un aditivo superplastificante para mantener la trabajabilidad.

- **J. L. Nishihara Alcocer, «Control de fisuras por retracción plástica en pavimentos rígidos mediante concretos con adición de fibras de Agave Americana L. Caso: vías urbanas San Carlos – Huancayo», *Repositorio institucional* – URP, 2019, URP, 2019, Accedido: 31 de mayo de 2023.**

[16] J. Nishihara tuvo por **objetivo** principal, evaluar el fisuramiento por retracción plástica en pavimento rígido adicionando la fibra natural vegetal. Para lograrlo **realizó** tramos de prueba a escala real en zonas climatológicas adversas para acelerar la aparición de fisura. Adicionó dicha fibra en dosificaciones de 0, 0.5, 0.75 y 1.0 % con respecto al volumen del hormigón.

El agrietamiento por retracción plástica se evaluó utilizando un microscopio y una regla de metal después de que el pavimento había sido vertido y terminado. Estos resultados se registraron en una ficha y después se analizaron estadísticamente para confirmar la eficacia de la fibra vegetal en la reducción de fisuras por retracción plástica. Finalmente, **concluyó** que, en comparación con los hormigones con una dosificación del 0,5%, que redujeron el % de dichas fisuras menos que los anteriores, y con un hormigón estándar sin adición, que no controló la aparición de fisuras, los hormigones con adición del 0,75% y del 1% fueron capaces de controlar la fisuración.

- **J. Sotil Levy y J. E. Zegarra Riveros, «Análisis comparativo del comportamiento del concreto sin refuerzo, concreto reforzado con**

***fibras de acero Wirand® FF3 y concreto reforzado con fibras de acero wirand® FF4 aplicado a losas industriales de pavimento rígido»,
Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)***

[17] Esta investigación tiene por **objetivo** principal comparar mediante ensayos de flexión, resistencia a compresión y tenacidad para un concreto patrón si adiciones y concreto añadiendo dos tipo de fibra de acero FF3 y FF4 en dosificaciones de 20 kg/m³ y 25 kg/m³.

Teniendo que, para el análisis de flexión el hormigón con de fibra de acero tipo FF4 presenta para 20kg/m³, una resistencia de 4.40 MPa y para 25kg/m³, 5.57 MPa en comparación el concreto con adición de fibra tipo FF3 que para 20kg/m³, obtuvo una resistencia de 4.26 MPa y para 25kg/m³, 4.67 MPa. Todo ello en comparativa con un concreto sin refuerzo de fibra con un MPa de 3.65.

Llegando a la conclusión que, la adición de fibra Wirand FF4 le otorga mayor resistencia a flexión al concreto debido a las características físicas de la fibra en sí misma.

Por otra parte, es cierto que el uso de fibra de acero reduce la trabajabilidad teniendo que para un concreto sin adición de fibra se observa 5.5 pulg de slump y para las demás con adición de fibra un promedio de 4 a 4.5 pulgadas.

En cuanto a la resistencia a compresión a los 28 días, las muestras con fibra FF3 y FF4 denotan un aumento en 15 y 5% con respecto a la muestra patrón.

- **Y. Pacco Quispe y Y. L. Quispe Villena, «Análisis de las propiedades físico mecánicas del concreto $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$ incorporando alambre reciclado, distrito Quiquijana – Cusco 2021», Repositorio Institucional – UCV, 2021, Accedido: 8 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102654>**

[18] El presente estudio adiciona 3% y 7% fibras de alambre reciclado N° 8 de 5 cm al hormigón 210 kg/cm².

La adición de 3% de alambre reciclado evidenció un comportamiento favorable a diferencia de la adición en 7%.

El concreto patrón sin adición alguna presentó una densidad total de 2382.3 kg/m³ y slump de 3.22 pulgadas a diferencia del concreto con adición en 3% de alambre reciclado que tuvo una densidad de 2394.8 kg/m³ y slump de 3.2 pulgadas. Finalmente, en 7% de alambre la

densidad se incrementó a 2403.4 kg/m^3 y slump se redujo a 3 pulgadas.

Las muestras de concreto con alambre en 3% y 7% alcanzaron resistencias a compresión de 113% y 115.9 mientras que la muestra estándar sin refuerzo de fibra obtuvo 109.8% con respecto a la resistencia de diseño.

Del ensayo a tracción se conoció que el concreto sin fibra obtuvo 29.9 kg/cm^2 , para la adición de 3% y 7%, 31.3 kg/cm^2 y 28.5 kg/cm^2 respectivamente, evidenciando una reducción.

Y finalmente de la resistencia a la flexión se pudo conocer que el concreto sin fibra obtuvo 41.32 kg/cm^2 , para la adición de 3% y 7%, 45.74 kg/cm^2 y 46.68 kg/cm^2 respectivamente

En resumen, la adición de 3% de alambre reciclado mejoró las propiedades físico-mecánicas del concreto, mientras que el 7% no mostró beneficios significativos.

Antecedentes Local

- [19] En el 2019, se realizó esta investigación en Chiclayo, la cual tiene por objetivo evaluar cómo influye la adición de virutas de acero en concreto para disminuir las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido para ello se comparó con un concreto estándar con adición de fibra comercial de acero 80/60 NB

El espesor de las virutas usadas varía de 0.5mm a 3mm siendo el espesor promedio de 1mm a 2 mm.

Los resultados demuestran que la longitud y el porcentaje de viruta óptimos para maximizar la resistencia a la tracción son de 7 cm con una adición de 1% en peso de cemento que equivale a 42,5 gramos por saco de cemento. Asimismo, el slump se reduce en 0.8 pulgadas

Con respecto a la evaluación de fisuras, la inclusión de virutas de acero disminuye significativamente su anchura causada por la retracción plástica hasta en un 58%, pero con el concreto patrón usando fibra de acero comercial 80/60 NB se reduce en 88%. Además, la adición de virutas reducen la resistencia a compresión en 8.4%, aumentan la tracción en 1 mientras que la fibra comercial CHO 80/60 NB consigue una reducción de hasta el 88%. Sin embargo, las virutas de acero tienden a reducir la resistencia a la compresión del hormigón en un 8,4%, a aumentar la resistencia a la tracción en un 1% y la resistencia a la flexión en un 3,3%.

Finalmente se concluye que usar virutas como adición no es rentable a pesar de sus ligeras mejoras en las propiedades del concreto.

Bases teóricas

Pavimento

Es una estructura constituida por varias capas apoyadas sobre el suelo, se diseña y elabora recibir y uniformizar las cargas de vehículos. Esta, mejora tanto la seguridad como el confort de la conducción. Normalmente, se compone de la capa de rodadura, la base y subbase [20].

Cuando hablamos de la capa de rodadura hacemos referencia a la última capa de un pavimento en colocarse, ya sea rígido, flexible o compuesto por adoquines, cumple la función principal de soportar y distribuir directamente las cargas del tráfico.[20] Al referirnos a la base hablamos de La capa de base, diseñada con un espesor específico, es un componente clave de la estructura del pavimento. Tiene como función uniformizar y transmitir de manera correcta las cargas vivas vehiculares a las capas inferiores, y soporta la capa de rodadura. [21]

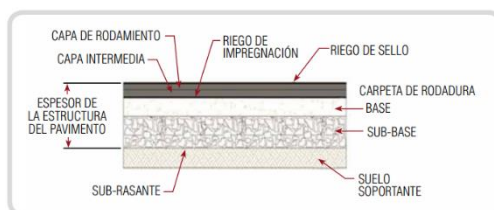
La subbase es la capa de material colocada encima de la subrasante. Sus funciones incluyen la transmisión y dispersión de cargas a la subrasante, la reducción de los costes de pavimentación al permitir una capa de base más fina, y la protección de la base al aislarla de la subrasante. Este aislamiento impide que el material del suelo penetre en la base, lo que podría provocar cambios volumétricos debidos a las variaciones de humedad, reduciendo en última instancia la resistencia de la base. [22]

Los **tipos de pavimentos** son los siguientes:

- Pavimento flexible

Al hablar de pavimento flexible hablamos de la capa de asfalto, apoyada sobre la base y esta en la subbase, estas últimas capas están compuestas por materiales granulares, y todas ellas se asientan sobre la subrasante, que no es más que el suelo compactado. [23]

Ilustración 2. Estructura de un pavimento flexible



Fuente: [23]

- Pavimentos semirrígidos

Estos pavimentos combinan el tipo flexible y rígido; teniendo la misma estructura que el flexible, con la diferencia que una de sus capas ha sido mejorada con algún tipo de aditivo, como pueden ser, asfalto, cemento, cal, químicos, etc, con el fin de mejorar las propiedades de los materiales de la zona, teniendo en cuenta que conseguir estos materiales fuera de la zona incluye un incremento en los costos de la ejecución. [24]

- Pavimentos rígidos

Un pavimento rígido se compone fundamentalmente de losas de hormigón de cemento Portland, ya sea simple o reforzado, que se colocan sobre una base o subrasante. Las aceras construidas con este tipo de losas de hormigón presentan una notable rigidez. Además, estas losas distribuyen las cargas sobre una superficie mayor, gracias a su mayor elasticidad en comparación con el suelo que las sostiene, lo cual reduce la presión sobre la calzada. [25]

Ilustración 3. Estructura de un pavimento rígido



Fuente: [24]

Concreto

El concreto o también llamado hormigón, es un material compuesto que se caracteriza por contener un conglomerante que aglutina partículas o agregados. En el caso del concreto que incorpora cemento, este, al mezclarse con agua, forma una masa cohesiva conocida como hormigón hidráulico. Masa compuesta por cemento, agregados y agua [26]. En la actualidad se incluye un cuarto componente que es muy utilizado, el aditivo.

Existen tipos de concreto según su uso como pueden ser, los masivos, pretensado y postensado, de alta resistencia, para pavimentos, lanzado, reforzado con adiciones de fibra, autocompactante, permeable, entre otros. [27]

Compuestos del concreto

- Cemento

Hace referencia al material derivado de la arcilla que no es inicialmente adhesivo, pero llega a adquirir propiedades cohesivas a través de la hidratación, es decir, la reacción química entre sus minerales y el agua. Cuando los productos de esta hidratación permanecen estables en un entorno húmedo, el cemento se clasifica como hidrostático. El más común de los cementos hidráulico más comúnmente usado en la producción de hormigón es el cemento Portland, compuesto principalmente de silicato de calcio hidráulico. [26]

En el Perú existen normas técnicas que regulan su fabricación, clasificación y son fundamentales conocer. Asimismo, es importante mencionar que las cementeras Peruanas no solo utilizan Normas peruanas sino también norteamericanas para la fabricación de cementos según sus tipos, tales como la 334.009 y su comparativa americana ASTM C-150, 334.009 y su similar americana ASTM C-595, 334.082 y su similar americana ASTM C-1157.

Proceso hidratación del cemento

El proceso de hidratación sucede cuando este reacciona al combinarse con agua, formando una gran cohesión entre sus partículas, es el proceso mediante el cual este material reacciona al mezclarse con agua, formando enlaces o estructuras cristalinas que le confieren cohesión. Los componentes principales del Clinker, el cuál es el componente con mayor participación en el contenido cemento, en orden decreciente de porcentaje, son el silicato tricálcico, dicálcico, aluminato tricálcico, ferroaluminato tetracálcico, óxido de magnesio, cal libre y sulfato alcalino. Estos componentes se pulverizan junto con yeso y otros aditivos que aportan propiedades especiales como color, velocidad de endurecimiento y resistencia. Cada uno de estos ingredientes tiene características únicas, influenciando la producción de calor, la coagulación y la reacción del cemento al agua. [28]

- Agregados

Los agregados representan el 70 a 80% de la composición del concreto, también conocidos como agregado fino y grueso [29].

- Agua

Es un componente base para la correcta mezcla del concreto y sirve para otorgarle la capacidad ligante logrando la correcta mezcla de todos los componentes. De acuerdo con el porcentaje o contenido de cemento en el concreto, se necesita una cantidad específica de agua solo para que ocurra la hidratación del cemento. El agua adicional únicamente sirve para aumentar la fluidez de la mezcla, actuando como lubricante para los agregados y facilitando así la manejabilidad de las mezclas frescas. [29]

- Aditivos

Son compuestos químicos añadidos al concreto durante su mezcla con el fin de alterar sus propiedades y optimizar su rendimiento bajo distintas condiciones. Estos aditivos pueden afectar varias características del concreto, incluyendo el tiempo de fraguado, la resistencia, la manejabilidad y la durabilidad. Según su función principal, existen muchos tipos como, los plastificantes y superplastificantes, reductores de agua, acelerantes, retardantes, incorporadores de aire, etc. [30]

- Adiciones

Son diferentes a los componentes tradicionales del concreto. Estas sustancias interactúan con el sistema de hidratación del cemento para modificar una o varias propiedades del concreto. Un ejemplo de estos materiales son las fibras. [30]

Fisuras en el concreto

Tipos de fisuración en estado plástico

Tabla 1. Tipos de Fisuración según tiempo de aparición

Fisuración en estado plástico	Contracción plástica	Contracción plástica
		Mapeo Superficial
		Asentamiento plástico
	Deficiencia en ejecución	Contracción por secado
		Contracción por carbonatación

Fuente: [31]

La fisuración por retracción plástica se presenta por dos escenarios:

Fisuras por Retracción hidráulica: También denominadas fisuras de contracción plástica, estas grietas se forman justo antes de que el concreto se endurezca por completo. Son especialmente comunes en losas y pavimentos y es debido a la acelerada evaporación del agua superficial del hormigón, un fenómeno típico en climas cálidos. Estas grietas comúnmente tienen un ancho que varía de 2 a 3 mm y aparecen en la superficie del hormigón, generalmente en grupos, con formas poligonales aleatorias y separadas por distancias de 20 a 1 cm. Su profundidad alcanza los 20 a 40 mm. [31]

Ilustración 4. Fisuras en losa aligerada por retracción plástica



Fuente: [32]

Fisuras de mapeo superficial: Se produce por un enérgico secado superficial en las primeras horas del vaciado y antes que comience a fraguar, mientras la temperatura sea más alta y el viento seco se presentará estas fisuras.

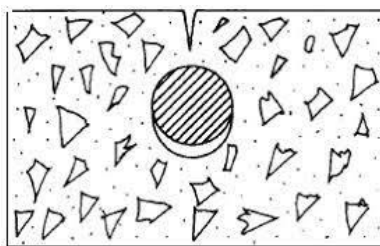
Cuanto más cemento se use y mayor contenido de finos y agua en la mezcla la retracción

plástica será mayor [31]

Fisuras Asentamiento plástico:

Aparecen cuando le mezcla tiende a asentarse y el concreto aún no fragua, el agua asciende a la superficie y si hay obstáculos como acero o agregados de gran tamaño se obstruye el acomodo de la mezcla generando asentamientos diferenciales plásticos provocando fisuras. Además, puede aparecer cuando se mueve el encofrado, desencofrado rápido o el suelo se deforma por la presión del concreto. [31]

Ilustración 5. Fisuras por asentamiento plástico ante barra



Fuente: [31]

Clasificación de fisuras según ancho e impacto en la estructura

Tabla 2. Clasificación de fisuras en función del ancho e impacto en la estructura

Clasificación por ancho [e]		Nivel de repercusión en la estructura
Microfisura	$e < 0.05 \text{ mm}$	Nivel muy bajo
Fisura	$0.1 < e < 0.2 \text{ mm}$	Nivel bajo, tener cuidado con ambientes marino u otros agresivos donde pueda desencadenarse la corrosión del acero
Macrofisura	$0.2 < e < 0.4 \text{ mm}$	Nivel moderado, podría existir repercusión estructural, se requiere estudio de vulnerabilidad para el diagnóstico y alternativas de reparación y/o reforzamiento en caso lo amerite
	$0.4 < e < 1 \text{ mm}$	Nivel alto. Podría existir reducción de la capacidad sismorresistente. Se requiere estudio de vulnerabilidad para el diagnóstico y alternativas de reparación y/o reforzamiento.
Grieta	$e > 1 \text{ mm}$	Nivel muy alto. Posible reducción significativa de la capacidad sismorresistente. Se requiere estudio de vulnerabilidad para determinar diagnóstico y determinar la posibilidad de salvar la estructura. Dependiendo de los daños encontrados, se debe evaluar la ecuación y apuntalamiento de la edificación.

Fuente: [1]

Tipos de fisuras, formas y periodo de aparición

Tabla 3. *Tipos, formas y periodo de aparición de fisuras*

Tipo	Forma	Periodo
Asentamiento plástico	Sobre y alineado al refuerzo, descenso vertical debajo del acero de refuerzo	10 min a 3 h
Contracción plástica	Diagonal	30 min a 6 h
Expansión y contracción térmica	Transversal	1 día a 2 3 semanas
Contracción por secado	Transversal, patrones o mapas	Semanas a meses
Congelación y deshielo	Paralelo a la superficie del concreto	Después de uno o más inviernos
Corrosión del refuerzo	Sobre el refuerzo	Mas de 2 años
Reactividad álcali agregado	Longitudinal y de patrón paralelas al lado menos limitado	Normalmente en 5 años a más, pero en semanas si es un material altamente reactivo
Ataque de sulfatos	Patrón	Primeros 5 años

Fuente: [1]

Fibras

La normativa ASTM C 1116 establece que son provenientes de cualquier sustancia, ya sea natural o fabricada, que pueden dispersarse durante la preparación del concreto otorgándole un refuerzo en múltiples direcciones.

Uso de fibras antecedentes

Los antiguos hallazgos de la cultura Mesopotamia de 9000 a. C [33], evidencia el uso de la paja en la mezcla para la fabricación de ladrillo con el fin de construir edificios más pesados, resistentes e impermeables.

Nuestros antepasados incas y la cultura maya también empleaban fibras vegetales en sus cerámicos para evitar que se fisuren en el proceso de secado expuesto al sol [34]

ACI 544.1R-96 menciona que desde tiempos antiguos se ha usado fibras para mejorar características de materiales frágiles, como el pelo de animales los antiguos morteros.

Clasificación de las fibras (ASTM 1116)

- **Por material:**

- Fibras metálicas

- ASTM 1116 menciona que pueden ser fibras de acero inoxidable, aleado o al carbono, según Sika Perú, tienen una relación de 20 a 100 en cuanto a la longitud/diámetro

- Fibras de vidrio

- La norma ASTM 1116 señala que estas presentes en el concreto pueden interactuar con los álcalis presentes en la pasta de cemento, lo que puede causar un debilitamiento de las fibras y una disminución gradual en la resistencia, tenacidad y resistencia al impacto del concreto. Por lo tanto, es necesario que este tipo de fibras tengan resistencia a álcalis.

- Fibras sintéticas

- Polipropileno, Poliestireno, Nylon, etc. [5]

- Fibras naturales

- Pueden ser provenientes del coco, yute, bambú, madera, etc. Con diámetros que van desde 0.5 milímetros a 0.2 mm [5]

- **Por geometría**

- Microfibras

Según Sika Perú, el objetivo de las microfibras es evitar las fisuras por retracción plástica o durante las primeras 24 horas. Tienen un diámetro que oscila entre 0.023mm y 0.050mm. La más usada son las de polipropileno con dosificación entre 300 gr/m³ a 1200 gr/m³.

Macrofibras

Según la empresa Sika Peru, la dosificación oscila entre el 0,2% y el 0,8% del volumen del concreto, y en teoría están pensadas para disminuir la fisuración cuando el concreto se encuentra en estado endurecido. Los materiales más utilizados son las metálicas y sintéticas con un diámetro de 0,5 a 2 mm.

Sin embargo, con fibras de acero la dosificación va de 20 a 50 kg/m³ y fibras sintéticas de 2 a 9 kg/m³ aproximadamente.

Concreto reforzado con fibra

La norma técnica 339.204 dicta los lineamientos y clasifica los concretos reforzados con fibras en el Perú.

La cuál menciona y clasifica como del tipo I al reforzado con acero; tipo II al vidrio. Estas deben cumplir con la norma ASTM C1666; tipo III al de fibras sintéticas como el polipropileno y poliestireno; finalmente tenemos al concreto reforzado tipo IV el cuál incluye fibras naturales.

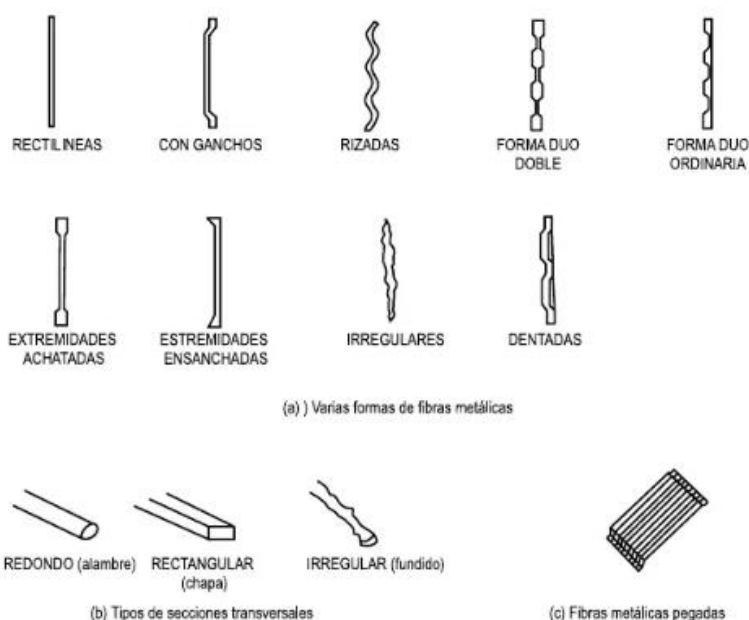
Fibras de acero

Hoy en día, se incorporan estas adiciones en numerosos materiales de construcción buscando mejorar las características y propiedades físicas-mecánicas del hormigón. Según ACI 544.1R-96, las pruebas iniciales de fibras de acero se realizaron en 1960 en *Estados Unidos*. Desde entonces, se han realizado numerosos estudios para respaldar su utilización.

La normativa ASTM 820 especifica los requisitos mínimos de las conformadas de acero como refuerzo en el concreto, la cual menciona 4 tipos de fibra de acero, alambre estirado en frío, hoja suelta, extraído en estado fundido y otras

Las fibras pueden ser de diferentes formas.

Ilustración 6. Ejemplo de fibras de diferentes formas



Fuente:[35]

Esta normativa nos habla sobre los requisitos mínimos tales como:

- **Propiedades mecánicas:**

Requisitos de tracción: Que no debe ser inferior a 345 MPa

Requisitos de flexión: Las fibras deben resistir el dobléz de al menos 3.18mm en un ángulo de 90 grados a temperaturas no menores de 16 ° C sin que la fibra se rompa.

Dimensiones: Las fibras tipo I se especifican por su diámetro y longitud que hacen referencia a l/d , en caso la fibra sea deformada la longitud (l_n) se medirá de tal manera

Ilustración 7. Fibra deformada

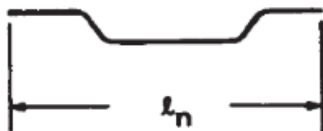


Fig. 1 Fibras deformadas estiradas en frío

Fuente: ASTM 820

- **Medida de Dimensiones:**

La medición de las dimensiones se debe realizar en no menos de 10 especímenes seleccionados al azar para cada ensayo para establecer el promedio de conformidad con las tolerancias especificadas. Al menos el 90% de las muestras en cada ensayo deben cumplir con las tolerancias especificadas de longitud, diámetro y relación de aspecto

- **Variaciones permitidas:**

La longitud no debe variar de su valor especificado más del $\pm 10\%$.

El diámetro no debe variar de su valor especificado más de $\pm 10\%$.

La relación de aspecto no debe variar en más del $\pm 15\%$.

- **Mano de obra, acabado y apariencia**

Condición de la superficie: Las costuras y las irregularidades de la superficie no deben ser motivo de rechazo, siempre que las propiedades de tracción no sean menores que los requisitos de esta especificación y el rendimiento de mezcla en concreto no se vea afectado adversamente.

El óxido, la cascarilla de laminación u otros recubrimientos no deben ser motivo de rechazo siempre que las fibras individuales se separen cuando se mezclen en concreto de acuerdo con la Especificación C 1116, y las propiedades de tracción y flexión no sean menores que los requisitos de esta especificación.

Alambre trefilado

Alambre que es estirado ya sea en condiciones frías, secas o húmedas [36].

Estirado en frío

Cuando hablamos de estirado en frío es el proceso por el cual se reduce el área seccional del alambón a través de moldes [37].

Recocido

Procedimiento térmico para aumentar la ductilidad, disminuir la dureza y eliminar las tensiones internas. [38]

Grado del acero

Aleación que corresponde a la composición química del material [36]

Alambre recocido

Tiene bajo contenido en carbono y es fabricado mediante trefilado y recocido, lo que le confiere una ductilidad y una resistencia mecánica excepcionales para el uso en cuestión [39]

Es usado para amarres de acero y encofrados de madera, teniendo como norma técnica para su composición química: SAE J403 N°1008

- Carbono: 0,10 % máx.
- Fósforo: 0.04 % máx.
- Magnesio: 0.30 - 0.50 %.
- Azufre: 0.05 %

Según la ficha técnica de Aceros Arequipa las características mecánicas son las siguientes: Presenta de 32 a 45.9 kg/mm² en cuanto a resistencia a la tracción, su unidad de medida es en Kg (Kilogramo) y ductilidad alta.

Sus dimensiones comerciales son:

Tabla 4. Dimensiones del alambre recocido

Diámetro nominal del alambre	Peso del rollo	
Designación N°	mm	kg
8	4.2	100
16	1.65	100

Fuente: [39]

Coefficiente de reducción de grietas

Según ASTM-C1579, el método para evaluar grietas por contracción plástica en concreto reforzado con fibras, CRR o relación de reducción de grietas, se calcula dividiendo el ancho promedio de grieta del concreto permeable a fibras reciclado por el ancho promedio de grieta del modelo. concreto, se utiliza para determinar el porcentaje de reducción de grietas en la muestra en comparación con el concreto de referencia, de modo que un valor de 100% significa que no hay grietas y un valor de 0 significa que el número de grietas no se reduce en comparación con los estándares de concreto.

$$\%CRR = \left[1 - \frac{\text{Ancho promedio de la Fisuras en Concreto con Adición de Fibras}}{\text{Ancho promedio de la Fisuras en Concreto patrón}} \right] * 100$$

Fibra de acero - CHO 65/35 NB

Son de fibras que encontramos comúnmente en el mercado peruano, producidas del acero trefilado para proporcionar un refuerzo al concreto tradicional y shotcrete, es una fibra de acero que tiene una alta relación (l/d), garantizando un alto rendimiento[40].

Tabla 5. Información y presentación del producto

Propiedades	
Descripción	SikaFiber® CHO 65/35 NB
Longitud de fibra	35 mm
Diámetro de fibra	0.5 mm
Relación Longitud/Diámetro	65
Dosificación recomendada	15-50kg/m3
Propiedades Mecánicas	
Descripción	SikaFiber® CHO 65/35 NB

Fuente: [40]

Ensayo de los materiales

Granulometría de los agregados

La Norma Técnica Peruana 400.012 es la encargada de detallar el proceso y requisitos para la granulometría de los agregados. Este ensayo permite determinar si los agregados son aptos para su utilización en el concreto.

Entre los materiales más importantes a utilizar se encuentran: la balanza, los tamices de acuerdo con la norma, las muestras de agregados, el cucharón, entre otros.

Es fundamental conocer el procedimiento de este ensayo. Primero, hay que realizar un cuarteo del material y se selecciona una muestra. Posteriormente, esta muestra se deja secar. Para el caso del agregado fino, se selecciona una cantidad de al menos 500 g; en el caso del agregado grueso, se verifica la cantidad de acuerdo con la tabla proporcionada por la normativa.

El procedimiento es el siguiente: para el caso del agregado grueso, se vacía el material y uniformemente realizando un cuarteo para seleccionar la muestra más representativa. En caso contrario, si no se está realizando para ese tipo de agregado, se selecciona directamente la muestra.

Se pasa el agregado por los tamices, verificando que sean los necesarios según la normativa.

Finalmente, se cuantifica el peso retenido por cada tamiz utilizando la balanza, para realizar los cálculos correspondientes y verificar la curva granulométrica.

Contenido de humedad de los agregados

Según la NTP 339.185, este ensayo permite conocer el porcentaje de agua presente en los agregados, lo cual influye en el diseño del concreto. Es crucial cuantificar el contenido de humedad para controlarlo adecuadamente en la mezcla. Un agregado con bajo contenido de humedad absorbe agua de la mezcla, mientras que uno con alto contenido de humedad añade agua a la mezcla. Por esta razón, se realiza este ensayo para ajustar el porcentaje de agua.

Entre los materiales más importantes para la correcta realización de este ensayo se encuentran: la balanza, el horno, el agregado fino o grueso y una tara o recipiente.

El procedimiento es el siguiente: en primer lugar, se pesa una muestra de al menos 500 g en su estado normal de extracción. Luego, se coloca en el horno por 24 horas. Finalmente, se extrae y se pesa nuevamente, estos datos servirán para realizar los cálculos. La diferencia de peso representa el contenido de humedad.

Peso específico de los agregados

Agregado fino

Las normas técnicas peruanas 400.021 hablan los ensayos para determinar el peso específico y el grado de absorción del agregado grueso, y 400.022 sobre el agregado fino, establecen que el peso específico se refiere al espacio ocupado por un volumen excluyendo los vacíos.

El procedimiento para realizar el ensayo del agregado fino incluye los siguientes pasos: Primero, se extraen al menos 1000 gramos de agregado fino a partir de un cuarteo previo y se secan. Luego, se sumergen en agua durante 24 horas. Posteriormente, el agregado se extiende y se deja expuesto a una corriente de aire suave para asegurar un secado adecuado. Para verificar si el secado es correcto, se coloca el agregado en un molde cónico, golpeándolo 25 veces y levantándolo verticalmente. Si las partículas todavía se adhieren entre sí, el agregado no está listo; si el cono de agregado colapsa, la muestra está lista para ser ensayada.

A continuación, se introducen 500 gramos de agregado fino en un frasco y se llenan con agua hasta alcanzar un volumen de 500 cm³. Luego, se agita el frasco para eliminar el aire atrapado dejando reposar durante una hora. Por último, se ajusta el volumen a 500 cm³ si es necesario.

Después, el agregado fino se extrae y se seca a una temperatura de 100 °C ± 5 °C, y se pesa.

En el laboratorio, se requieren cuatro datos para calcular los resultados:

- El peso del material saturado.
- El peso del frasco con agua.
- El peso del frasco con la muestra y el agua.
- El peso del material seco.

Agregado grueso

Según la normativa 400.021 el procedimiento para la determinación del peso específico del agregado grueso consiste en:

Como primer paso realizar el cuarteo del material para seleccionar al menos 2kg de esta, es importante después, lavar la muestra y sumergirla durante 24 para posteriormente dejarla secar al aire libre. Luego se pesa la muestra y se coloca en una canastilla para determinar el peso sumergido en agua y finalmente esta muestra ingresa al horno por 24 horas y se pesa al termino

de ello para conocer el peso seco de la muestra.

Grado de absorción

En palabras simples, es la capacidad del agregado para absorber agua. El procedimiento para calcular el grado de absorción es el mismo para peso específico de agregados y siguiendo la misma normativa

Peso unitario volumétrico suelto y compactado de los agregados

En términos sencillos según la NTP 400.017, es una medida que indica cuánto pesa el agregado grueso o fino por cada unidad de volumen, ya sea un litro, un metro cúbico, etc. Sirve para determinar las proporciones de los materiales en la mezcla de concreto.

El procedimiento consiste en realizarlo para peso volumétrico suelto y compactado, para el suelto, se pesa el molde y se rellena el agregado al ras sin aplicar presión alguna, posteriormente se verifica el peso. Para el peso volumétrico compactado se realiza el mismo procedimiento, pero se compacta con 25 chuzeadas cada 3 capas.

Ensayos del concreto en estado fresco

Prueba del cono de abrams

Sirve para determinar la trabajabilidad y fluidez del concreto siguiendo las indicaciones de la NTP 339.035

Ensayos en campo

La Norma técnica C0.10 Pavimentos Urbanos

Especifica que durante la ejecución de obras de pavimentos de concreto se realizarán los siguientes ensayos:

- Ensayo de consistencia: Según la MTC E – 705
- Ensayo de resistencia a flexión: Según la NTP 339.078
- Ensayo de resistencia a compresión: Según la NTP 339.034

Asimismo, esta normativa especifica algunos requerimientos mínimos en la supervisión tales como que, estos pavimentos no deben presentar irregularidades mayores a 3mm, la resistencia a flexo – tracción no debe ser menor que la del diseño, se deberá verificar el espesor cada 350 m² y se extraerá como mínimo 2 testigos de concreto.

Ensayo de compresión

Se realiza según la NTP 339.034 y sirve para determinar la resistencia del concreto en kg/cm² Para este ensayo se deberá promediar al menos dos testigos de concreto si estas tienen 15cm de diámetro y 30 cm de altura. Se ensayarán de acuerdo con la edad del concreto tan pronto como salga del curado.

Esa se determinará dividiendo la carga aplicada entre el área del testigo

Ensayo a la flexión

En términos sencillos, el ensayo de flexión según la NTP 339.079 se utiliza para determinar la cantidad de fuerza que una viga de concreto puede resistir antes de quebrarse bajo una carga aplicada en su centro. El procedimiento implica colocar la viga sobre dos soportes y aplicar una carga en el centro hasta que se rompa. Este ensayo es útil para medir la capacidad del concreto para resistir fuerzas que intentan doblarlo.

El módulo de rotura se determina de la siguiente manera:

$$Mr = \frac{3PL}{2bh^2}$$

Dónde P es la carga aplicada en N , L la longitud de la viga en mm , b y h el ancho y altura en mm respectivamente

Evaluación de Fisuras

Para evaluar las fisuras la normativa ACI 224.1R-07 nos dicta algunos lineamientos para conocer la magnitud de ellas mediante observación directa e indirecta, ensayos invasivos y no invasivos y ensayos a testigos que se extraen de la estructura.

ACI 224.1R-07 menciona a la observación directa para ubicar las fisuras y sus anchos utilizando un esquema de la estructura analizada.

El ancho de las fisuras se puede registrar haciendo uso de un microscopio comparador o una tarjeta de comparación de fisuras, asimismo se debe incluir las características que se pueden observar de cada fisura.

Ilustración 8. Microscopio comparador de fisuras



Ilustración 9. Tarjeta comparadora de fisuras



Materiales y métodos

Tipo de investigación

Esta investigación se clasifica como aplicada debido a su enfoque en resolver un problema concreto y práctico, específicamente el agrietamiento por contracción plástica. Para abordar esta problemática, hemos seguido rigurosamente el método científico. Inicialmente, formulamos una hipótesis basada en nuestras observaciones y conocimientos previos. Luego, procedimos a probar esta hipótesis utilizando una variedad de herramientas y métodos disponibles, con el objetivo de encontrar respuestas y soluciones efectivas. Este enfoque no solo nos permite comprender mejor el fenómeno del agrietamiento por contracción plástica, sino también desarrollar estrategias y tecnologías que puedan mitigar sus efectos en contextos reales.

Nivel de investigación

Hablar del nivel de investigación tiene que ver con cuanto el investigador conoce la realidad problemática o el fenómeno que estamos estudiando. Cada nivel supone estrategias diferentes para poder realizar la investigación. [41]

La presente investigación adquiere un nivel explicativo pues se tiene como objetivo brindar información a detalle cuando hay poca información acerca del tema [42]. Se investiga el fenómeno de las fisuras por retracción plástica adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 para controlarlas en el pavimento rígido.

Diseño de investigación

Según [43], en el diseño experimental el investigador utiliza variables con las cuales se puede controlar el incremento o disminución con respecto a los resultados. En esta investigación contamos con variable independiente y dependiente. Siendo la fibra de alambre reciclado N°16 en 10kg/m³, 15 kg/m³ y 20 kg/m³ respecto al volumen de concreto, la que alterará los resultados y modificará la aparición de fisuras por retracción plástica en un pavimento rígido.

Hipótesis

La adición de fibras de alambre reciclado N° 16 controlará las fisuras por retracción plástica mejor que la fibra comercial de acero CHO 65/35 NB en pavimento rígido 280kg/cm²

Población y muestra

La población para la Evaluación de Fisuras según la normativa ACI 224.1R-07 será de 4 losas de pavimento rígido de 4.8m² con resistencia $f'c$ 280 kg/cm² cada una, la población será la misma que la muestra.

Tabla 6. Población y muestra para la evaluación de fisuras

Variable independiente	Dosificación	Losa - pavimento				
		Longitud	Espesor	Área	Volumen	
Patrón	CHO 65/35 NB	+ 20 kg/m ³ fibra comercial	1.2m x 4m	0.15m	4.8 m ²	0.72 m ³
CF1	concreto	+ 10 kg/m ³ alambre reciclado			4.8 m ²	0.72 m ³
CF2	concreto	+ 15 kg/m ³ alambre reciclado			4.8 m ²	0.72 m ³
CF3	concreto	+ 20 kg/m ³ alambre reciclado			4.8 m ²	0.72 m ³
Total					19.2 m ²	2.88 m ³

Fuente: Elaboración propia

Las muestras con respecto a la determinación de la resistencia a la compresión serán las siguientes según la normativa especificada

Tabla 7. Población y muestra

Muestras - Resistencia a la compresión - NTP 339.034						
Concreto 280 kg/cm²						
Edad	65/35 NB	20kg/m ³	Alambre N°16 10kg/m ³	Alambre N°16 15kg/m ³	Alambre N°16 20kg/m ³	Total de probetas
7 días	3		3	3	3	
14 días	3		3	3	3	
28 días	3		3	3	3	
Total	9		9	9	9	36

Fuente: Elaboración propia

Para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas, se realizarán pruebas siguiendo el estándar NTP 339.078. Estas pruebas se llevarán a cabo en vigas simplemente apoyadas, sometidas a cargas aplicadas en los tercios del tramo. Para este propósito, se utilizarán un total de 12 vigas, cada una con dimensiones de 0.15 metros de ancho, 0.15 metros de alto y 0.50 metros de longitud.

Tabla 8. Población y muestra

Muestras - Resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo NTP 339.078					
Concreto 280 kg/cm²					
Edad	SikaFiber® CHO 65/35 NB 20kg/m³	Alambre N°16 10kg/m³	Alambre N°16 15kg/m³	Alambre N°16 20kg/m³	Total de probetas
28 días	3	3	3	3	
Total	3	3	3	3	12

Fuente: Elaboración propia

Para cada muestra de *concreto reforzado con fibras*, se determinará el asentamiento utilizando el ensayo de slump. Este procedimiento se llevará a cabo de acuerdo con los lineamientos establecidos en la Norma MTC E-705, la cual regula el método para medir el asentamiento del concreto. Esta prueba es esencial para evaluar la consistencia y la trabajabilidad del concreto fibrorreforzado, asegurando que cumpla con los requisitos de calidad y desempeño necesarios para su uso en diversas aplicaciones.

Tabla 9. Población y muestra

Muestras - Norma MTC E-705 Asentamiento Del Concreto	
Concreto 280 kg/cm²	
SikaFiber® CHO 65/35 NB 20kg/m ³	4 pulg
Alambre N°16 10kg/m ³	4 pulg
Alambre N°16 15kg/m ³	3.5 pulg
Alambre N°16 20kg/m ³	3.5 pulg

Fuente: Elaboración propia

Operacionalización de variables

Tabla 10. Operacionalización de variables

Variable		Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Índice
Tipo	Descripción				
Independiente	Fibras de alambre recocido reciclado #16	Características físicas	Longitud (5cm)	Flexómetro	cm
			Diámetro (1.5mm)	Tarjeta de fisuras, Ficha técnica Aceros Arequipa	mm
			Peso	Balanza	kg
		Características mecánicas	Resistencia a la tracción	Laboratorio ASTM 820 - ASTM D3379-75	Mpa
			Deformación en la rotura	Laboratorio ASTM 820 - ASTM D3379-75	%
			Módulo de elasticidad	Laboratorio ASTM 820 - ASTM D3379-75	Mpa
			Ensayo de corrosión	Laboratorio ASTM 820 - ASTM D3379-75	%
		Dosificación	10 kg/m ³	Balanza	gr
			15 kg/m ³		
			20 kg/m ³		
Dependiente	Fisuras por retracción plástica	Evaluación de fisuras - ACI 224.1R-07	Longitud de fisuras	FICHA DE OBSERVACIÓN - flexómetro	mm
			Ancho de fisuras	FICHA DE OBSERVACIÓN - Tarjeta de comparación de fisuras	mm
					mm ²
			CRR	ASTM C1579-13	%
			Tiempo de aparición	FICHA DE OBSERVACIÓN - Reloj	am - pm
Interviniente	Agregados	Características	Análisis Granulométrico	Laboratorio - NTP 400.012	gr
			Contenido de humedad	Laboratorio - NTP 339.185	%
			Peso específico y grado de absorción	Laboratorio - NTP 400.021 - 400.022	%
			Peso volumétrico	Laboratorio - NTP 400.017	kg/cm ²
	Concreto	Resistencia f'c	Diseño de mezcla	Diseño de mezcla - Metodo ACI	280 kg/cm ²
		Cemento	Tipo I	-	-
		TMN (A. Grueso)	3/4	Análisis Granulométrico	Pulgadas

Fuente: Elaboración propia

Técnicas de recolección de datos:

En el presente proyecto, la técnica principal empleada es la observación directa, conforme a lo estipulado en la norma ACI 224.1R-07, para evaluar las fisuras en estructuras de hormigón. A través de esta técnica visual, se podrán identificar y medir las dimensiones de las fisuras causadas por la retracción plástica. El estudio comparará dos tipos de concreto: uno con la adición de fibra comercial y otro reforzado con alambre reciclado #16, en proporciones de 10, 15 y 20 kg/m³. Esta metodología permitirá obtener datos precisos sobre el comportamiento de las fisuras en ambos tipos de concreto, contribuyendo a una mejor comprensión y manejo de estos materiales en la práctica constructiva.

Instrumentos de recolección de Datos

Para la evaluación de las fisuras causadas por la retracción plástica, se utilizará una ficha de observación detallada como instrumento principal. En esta ficha, se registrarán diversas dimensiones y características de las fisuras, incluyendo la hora de aparición, el ancho, la longitud y el área de cada fisura, entre otros parámetros relevantes. Este procedimiento se aplicará tanto a un concreto estándar como a concretos que incorporan fibras de alambre reciclado #16, en diferentes proporciones de 10, 15 y 20 kg/m³. Esta metodología permitirá una comparación exhaustiva entre el comportamiento del concreto sin aditivos y aquel reforzado con fibras, facilitando una evaluación precisa de la efectividad del uso de alambre reciclado en la reducción de fisuras por retracción plástica.

Tabla 11. Ficha de Observación para la evaluación de fisuras por retracción plástica del hormigón reforzado con fibras ASTM - C1579

FICHA DE OBSERVACION PARA DETERMINAR LA MAGNITUD DE FISURACIÓN EN LOS PAÑOS DE PRUEBA	
Presentado por	Jaime Octavio Campos Berru
Tesis: Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando dosificaciones de fibras de alambre reciclado N°16	

DATOS PRELIMINARES	
Nombre del paño de prueba	Concreto Patrón Fibra de acero Comercial
Volumen del paño (m ³)	
Resistencia del concreto (f'c)	
Fecha de vaciado	
Hora de inicio del vaciado	
Hora de fin del vaciado	
Slump (pulg)	
Dosificación de fibra (kg/m ³)	
Dosificación de fibra (kg)	
Temperatura del concreto al inicio del vaciado (C°)	

REGISTRO DE FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA - ACI 224.1R-07

FISURA	HORA DEL BROTE	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Área (mm²)	Temperatura del concreto al brotar fisura (C°)	Velocidad del viento al brotar fisura (m/s)	Temperatura del ambiente al brotar fisura (C°)	Clasificación según ancho
F1								
F2								
F3								
F4								
F5								
Total								
Promedio								

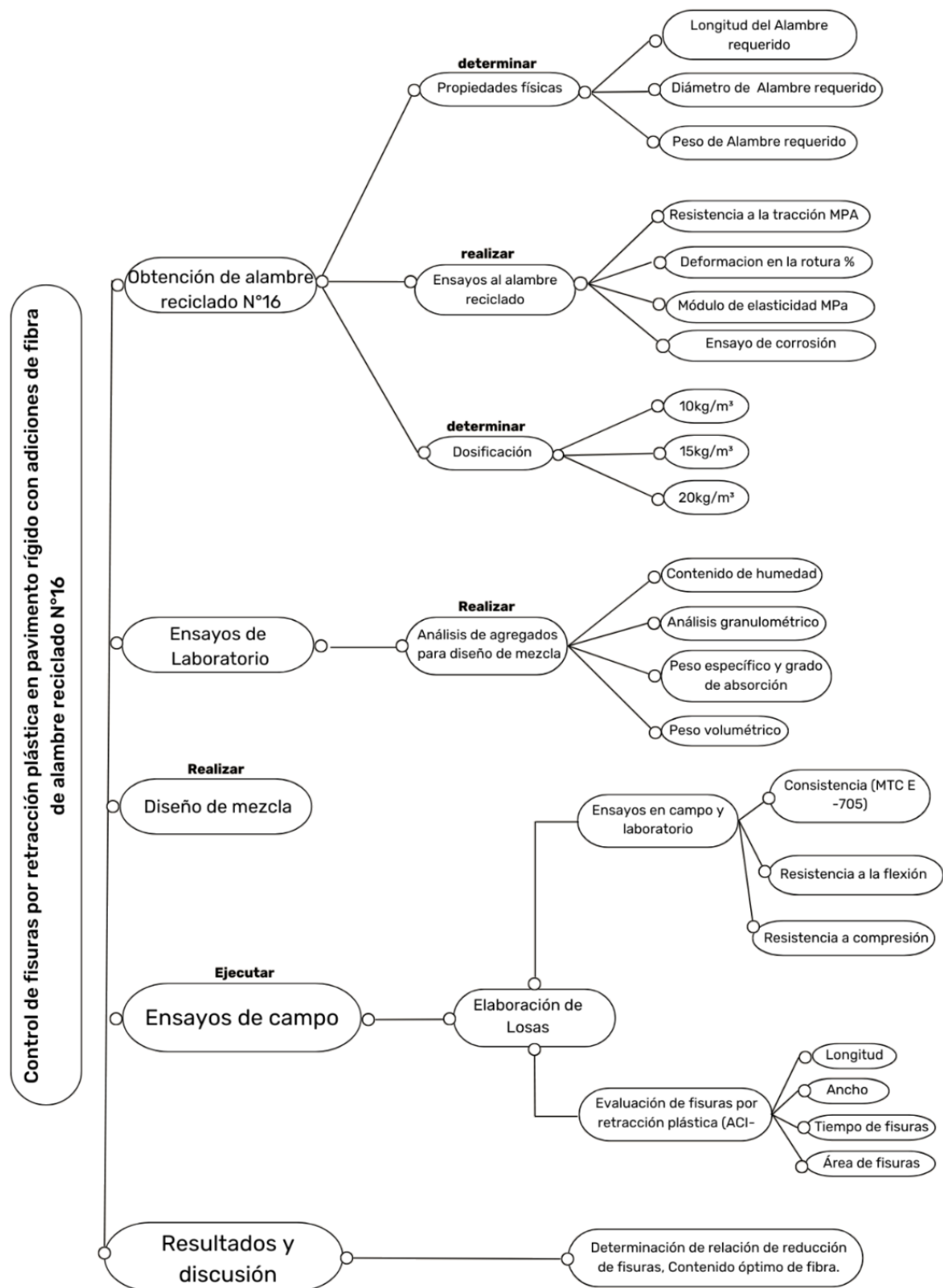
Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Matriz consistencia - Fuente: Elaboración propia

Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibras de alambre reciclado N°16										
Formulación del problema	Objetivos	Hipótesis	Variable		Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Índice		
			Tipo	Descripción						
¿Cuánto influye la adición de fibras de alambre reciclado N° 16 para controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido?	Objetivo General	La adición de fibras de alambre reciclado N° 16 controlará las fisuras por retracción plástica mejor que la fibra comercial de acero SikaFiber® CHO 65/35 NB en pavimento rígido	Independiente	Fibras de alambre recocido reciclado #16	Características físicas	Longitud (5cm)	Flexómetro	cm		
	Controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N°16					Peso	Diametro (1.5mm)	Tarjeta de fisuras, Ficha técnica Aceros Arequipa	mm	
							Resistencia a la tracción	Laboratorio ASTM 820 - ASTM D3379	Mpa	
					Deformación en la rotura		Laboratorio ASTM 820 - ASTM	%		
	Objetivo Específico				Módulo de elasticidad	Características mecánicas	Laboratorio ASTM 820 - ASTM	Mpa		
							Ensayo de corrosión	Laboratorio ASTM 820 - ASTM D3379-75	%	
							Dosificación	10 kg/m³	Balanza	gr
	15 kg/m³									
	20 kg/m³									
	<ul style="list-style-type: none"> •Determinar la dosificación óptima de fibra de alambre reciclado N° 16 para controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido. •Determinar la relación de reducción de fisuras (CRR) por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 •Caracterizar las fibras de alambre reciclado N° 16 para controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido. •Elaborar losas de concreto fibrorreforzadas con alambre reciclado N° 16 adicionando dosificaciones de 10, 15 y 20kg/m³ vs concreto patrón con fibra comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB para evaluar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido. •Calcular la variación de la longitud de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 •Determinar la variación del ancho de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 •Cuantificar la variación del área de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 				<ul style="list-style-type: none"> •Determinar la dosificación óptima de fibra de alambre reciclado N° 16 para controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido. •Determinar la relación de reducción de fisuras (CRR) por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 •Caracterizar las fibras de alambre reciclado N° 16 para controlar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido. •Elaborar losas de concreto fibrorreforzadas con alambre reciclado N° 16 adicionando dosificaciones de 10, 15 y 20kg/m³ vs concreto patrón con fibra comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB para evaluar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido. •Calcular la variación de la longitud de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 •Determinar la variación del ancho de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 •Cuantificar la variación del área de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 	Dependiente	Fisuras por retracción plástica	Evaluación de fisuras - ACI 224.1R-07	Longitud de fisuras	FICHA DE OBSERVACIÓN - flexómetro
			Ancho de fisuras	FICHA DE OBSERVACIÓN - Tarjeta de comparación de fisuras					mm	
			Área de fisuras						mm²	
			CRR	ASTM C1579-13					%	
			Tiempo de fisuramiento	FICHA DE OBSERVACIÓN - Reloj					am - pm	
			Interviniente	Agregados					Características	Análisis Granulométrico
Contenido de humedad		Laboratorio - NTP 339.185								%
Peso específico y grado de absorción		Laboratorio - NTP 400.021 - 400.022								%
Peso volumétrico		Laboratorio - NTP 400.017								kg/cm³
Concreto		Resistencia f c	Diseño de mezcla	Diseño de mezcla - Metodo ACI					280 kg/cm²	
	Cemento			Tipo I	-					
	TMN (A. Grueso)			3/4	Análisis Granulométrico	Pulg				

Procedimiento

Tabla 13. Flujoograma de desarrollo



Fuente: Elaboración propia

1. Primero, se llevó a cabo la recolección y el análisis de las diversas características del alambre reciclado número 16, que se generan en las obras de construcción y fuera de ella.

Ilustración 10. Extracción de alambre reciclado N° 16



2. Con el uso de una tronzadora se cortó el alambre en longitudes de 5cm para la obtención de fibras hasta completar más de 32.4 kg que es el peso estimado total para la adición a las 4 muestras de pavimento rígido.

Tabla 14. Peso total de alambre a utilizar

Muestra	Volumen Concreto	Fibra de alambre (kg/m ³)	Total de Fibra de alambre (kg/m ³)
Losa 1	0.72 m ³	10 Kg/m ³	7.2 Kg
Losa 2	0.72 m ³	15 Kg/m ³	10.8 Kg
Losa 3	0.72 m ³	20 Kg/m ³	14.4 Kg
Total Alambre			32.4 Kg

Ilustración 11. Corte de alambre reciclado N° 16



3. Se determina las propiedades físicas, mecánicas y químicas del alambre tales como dimensiones, resistencia a tracción, módulo de elasticidad, deformación a la rotura, índice de oxidación.

Ilustración 12. Medición de las propiedades físicas de la fibra de alambre reciclado N° 16

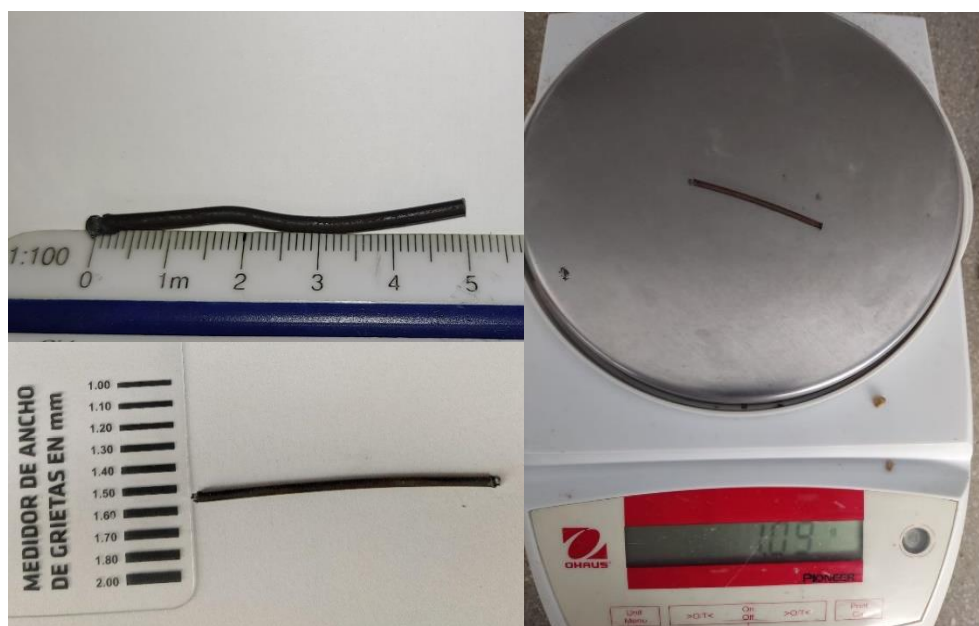
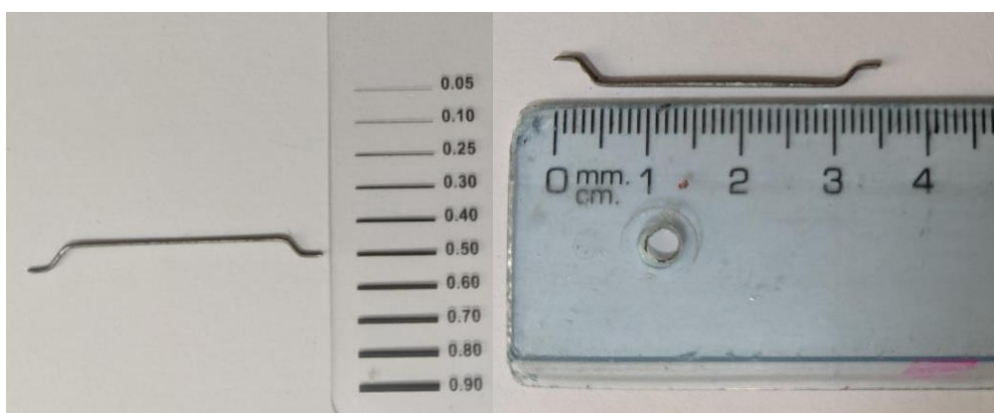


Tabla 15. *Propiedades físicas de la fibra de alambre reciclado N° 16*

Propiedades Físicas	
Descripción	Alambre Reciclado N° 16
Longitud de fibra	50 mm
Diámetro de fibra	1.5 mm
Relación Longitud/Diámetro	33
Peso de fibra	1.09

Fuente: Elaboración propia

4. Propiedades físicas de la fibra comercial

Ilustración 13. *Mediciones de las propiedades físicas de la fibra comercial.***Tabla 16.** *Propiedades físicas de la fibra de acero comercial*

Descripción	SikaFiber® CHO 65/35 NB
Longitud de fibra	35 mm
Diámetro de fibra	0.5 mm
Relación Longitud/Diámetro	65
Dosificación	15-50kg/m ³

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. *Propiedades mecánicas de la fibra de acero comercial*

Descripción	SikaFiber® CHO 65/35 NB
Resistencia a la tracción	Min 1,300 MPa
Elongación a la rotura	4% máx
Dosificación	15-50kg/m ³

Fuente: [40]

5. Posteriormente, se realizó los siguientes ensayos de los *agregados* para poder ejecutar el diseño de mezcla.

Granulometría de los agregados

Se siguió la realización del ensayo siguiendo la normativa correspondiente

Ilustración 14. Realización de granulometría de agregados



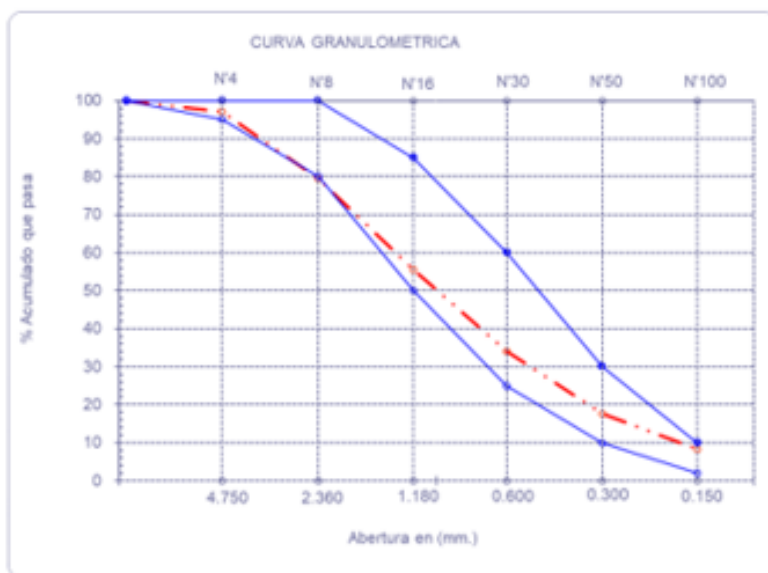
Agregado Fino

El módulo de fineza del agregado fino es de 3.078

Tabla 18. Granulometría del agregado Fino

Cantera		: Tres Tomas-Ferreñafe		P. Inicial H.	0.0	% de	
				P. Inicial S.	487.5	Humedad = 1.86	
Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	14.3	2.9	2.9	97.1	95	100
Nº 08	2.360	85.6	17.6	20.5	79.5	80	100
Nº 16	1.180	116.75	23.9	44.4	55.6	50	85
Nº 30	0.600	104.51	21.4	65.9	34.1	25	60
Nº 50	0.300	80.63	16.5	82.4	17.6	10	30
Nº 100	0.150	44.9	9.2	91.6	8.4	2	10
Fondo		40.31	8.3	99.9	0.1		
Módulo de Fineza				3.078			

Gráfico 1. Curva granulométrica del agregado fino



Agregado grueso

Tabla 19. Curva granulométrica del agregado grueso

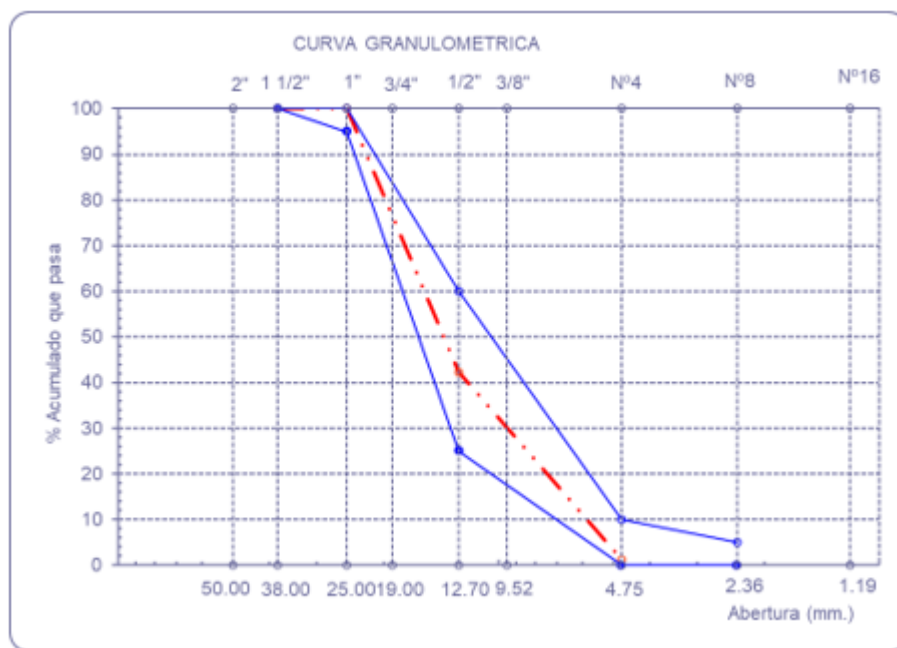
Cantera : Tres Tomas-Ferreñafe.

P. Inicial H. 0 % de Humedad = 0.32

P. Inicial S. 2036

Malla		Peso Ret.	[%] Ret.	[%] Acum. Ret.	[%] Acum. Que Pasa	USO 56	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.00	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.00	0.0	0.0	0.0	100.0	90.0	100.0
3/4"	19.00	289.1	14.2	14.2	85.8	40.0	85.0
1/2"	12.70	884.5	43.4	57.6	42.4	10.0	40.0
3/8"	9.52	428.9	21.1	78.7	21.3	0.0	15.0
Nº 04	4.75	408.4	20.1	98.8	1.2	0.0	5.0
Nº 08	2.36	9.2	0.5	99.2	0.8	0.0	0.0
Nº 16	1.19	0.2	0.0	99.2	0.8	0.0	0.0
Fondo		5.0	0.2	99.5	0.5		
Tamaño Máximo			1"	19.00			
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	12.70			

Gráfico 2. Curva granulométrica del agregado grueso



Contenido de humedad de los agregados NTP 339.185

El contenido de humedad del agregado fino es de 1.86% y el del agregado grueso de 0.32%.

Ilustración 15. Colocación al horno para determinar el contenido de humedad



Agregado Fino

Tabla 20. Contenido de humedad del agregado fino

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1195.2	1249.1
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1169.9	1230.1
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	2.17	1.55
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.86	

Agregado Grueso

Tabla 21. Contenido de humedad del agregado fino

Cantera : Tres Tomas-Ferreñafe.

I.- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2521.1	2065.1
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	2512.1	2059.3
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.32	

Peso específico – NTP 400.021

El peso específico del **agregado fino** es de 2572 kg/cm³

Ilustración 16. Determinación del peso específico del agregado fino y grueso.



I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca +Frasco +Aqua	(g)	1008.6	1008.6
2.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco	(g)	701.68	701.68
3.- Peso del Agua	(g)	306.87	306.87
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasco	(g)	698.47	698.47
5.- Peso del Frasco	(g)	201.68	201.68
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497	497
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.572
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.589
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.616
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.65

El peso específico del **agregado grueso** es de 2628 kg/cm³

I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	5020	5020
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	5070	5070
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso de la canastilla	(g)	4170	4170
4.- Peso de la canastilla	(g)	1010	1010
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	3160	3160

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm ³)	2.628
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm ³)	2.654
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	(g/cm ³)	2.699
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.00

Del ensayo anteriormente mencionado se sabe que la absorción del agregado fino es de 0.65% y la del agregado grueso 1%.

D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.65
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.00

Peso volumétrico NTP 400.017**a) Peso unitario suelto y compactado del agregado fino**

Tenemos como resultado que, el peso unitario suelto seco del agregado fino es de 1634 kg/m³ y su peso unitario compactado es de 1765 kg/m³.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta	(gr.)	9158	9148
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9158	9148
4.- Constante o Volumen	(m ³)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1666	1664
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1634	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta	(gr.)	9884	9880
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9884	9880
4.- Constante o Volumen	(m ³)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1798	1797
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1765	

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

Proveniente de la cantera Tres Tomas - Ferreñafe, tenemos como resultado que, el peso unitario suelto seco del agregado grueso es de 1408 kg/m^3 y su peso unitario compactado es de 1835 kg/m^3 .

A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	7790	7740
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7790	7740
4.- Constante o Volumen	(m^3)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m^3)	1417	1408
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m^3)	1408	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta + recipiente	(gr.)	10120	10120
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		10120.0	10120.0
4.- Constante o Volumen	(m^3)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m^3)	1841	1841
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m^3)	1835	

Diseño de mezcla concreto con fibra comercial 20kg/m³

Tabla 22. Diseño de mezcla para concreto con fibra de acero comercial (Patrón)

CERTIFICADO DE ENSAYO						
DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI						
PROYECTO:	Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16					
UBICACIÓN:	CHICLAYO - LAMBAYEQUE					
TESISTA:	Jaime Octavio Campos Berrú					
ESTRUCTURA:	CONCRETO - PAVIMENTO	f'c DISEÑO (kg/cm²):			280	
FECHA ENSAYO:	2023					
DATOS		MATERIALES				
f'c DISEÑO (Kg/cm ²)	280	CEMENTO	TIPO I (3.12)			
		AGUA	POTABLE (RED PÚBLICA)			
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	ADITIVOS	NINGUNO			
		AGREGADOS:	A. FINO (Cantera Pátapo La Victoria S.A.) A.GRUESO (TRES TOMAS)			
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	PLÁSTICA (SP. 3"-4")	ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO	
		P. ESPECIFICO DE MASA	gr/cm ³	2.57	2.63	
AIRE INCORPORADO	NO	% DE ABSORCIÓN	%	0.65	1.00	
		CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.86	0.32	
EXPOSICION A INTERPERIE	NO PRECISA	MODULO DE FINEZA	-	3.08	---	
		TAMAÑO MÁX. NOMINAL	"	---	3/4"	
OBSERVACIONES	NINGUNA	P. UNIT. COMPACTADO	kg/m ³	1765	1835	
		P. UNIT. SUELTO	kg/m ³	1634	1408	
PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)						
RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	315	kg/cm ²		
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO	A/C	=	0.503			
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m ³	Tabla	
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%	tabla	
FACTOR CEMENTO	F.C	=	9.6	bol/m ³		
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G	=	922.87	kg/m ³		
DISEÑO						
1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			4. CORRECCION POR HUMEDAD			
CEMENTO	=	0.131 m ³	PESOS HUMEDOS			
AGUA	=	0.205 m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³	
AIRE	=	0.020 m ³	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³	
A. GRUESO	=	0.351 m ³	HUMEDAD SUPERFICIAL			
TOTAL	=	0.707 m ³	A. FINO	1.21	%	
			A. GRUESO	-0.68	%	
2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO			APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS			
VOLUMEN ABSOLUTO:		0.293 m ³	A. FINO	9.12	lt/m ³	
PESO SECO:		754.306 kg/m ³	A. GRUESO	-6.24	lt/m ³	
			APORTE TOTAL	2.88		
3. VALORES DE DISEÑO			AGUA EFECTIVA			
CEMENTO :		407.555 kg/m ³	AGUA EFECTIVA	202.12	lt	
AGUA DE DISEÑO :		205.000 lt	5. PESOS CORREGIDOS			
A. FINO SECO :		754.306 kg/m ³	CEMENTO	407.55	kg/m ³	
A. GRUESO SECO :		922.873 kg/m ³	AGUA EFECTIVA	202.12	lt	
FIBRA DE ACERO COMERCIAL		20.000 kg/m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³	
			A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³	
			FIBRA DE ACERO COMERCIAL	20.00	kg/m ³	
RESULTADOS						
		CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO		1 Bolsa	1.9 Bolsa	2.27 Bolsa	2.09 kg	21.08 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO		1 pie ³	1.73 pie ³	2.42 pie ³	2.09 kg	21.08 L
REAJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR SLUMP Y GRAVA:						
Cantidad de cemento	590.636	Kg/m ³	FACTOR CEMENTO		13.9	BOLSAS/M3
Agua de mezclado	297.090	Lt/m ³				
Arena	716.366	Kg/m ³				
Grava	757.977	Kg/m ³				
FIBRA DE ACERO COMERCIAL	20.000	kg/m ³				
RESULTADOS						
		CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO		1 Bolsa	1.2 Bolsa	1.28 Bolsa	1.44 kg	21.38 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO		1 pie ³	1.11 pie ³	1.37 pie ³	1.44 kg	21.38 L
POR BALDE DE 15 LITROS EN OBRA		1	2.1	2.6	1.44 kg	1.4

Fuente: Elaboración propia

Diseño de mezcla concreto con fibra de alambre reciclado 10kg/m³

Tabla 23. Diseño de mezcla para concreto con fibra de alambre reciclado 10kg/m³

CERTIFICADO DE ENSAYO							
DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI							
PROYECTO:	Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16						
UBICACIÓN:	CHICLAYO - LAMBAYEQUE						
TESISTA:	Jaime Octavio Campos Berrú						
ESTRUCTURA:	CONCRETO - PAVIMENTO		f'c DISEÑO (kg/cm²):		280		
FECHA ENSAYO:	2023						
DATOS			MATERIALES				
f'c DISEÑO (Kg/cm ²)	280		CEMENTO TIPO I (3.12)				
ESTRUCTURA	PAVIMENTO		AGUA POTABLE (RED PÚBLICA)				
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	PLÁSTICA (SP. 3"-4")		ADITIVOS NINGUNO				
AIRE INCORPORADO	NO		AGREGADOS: A. FINO (Cantera Pátapo La Victoria S.A.) A.GRUESO (TRES TOMAS)				
EXPOSICION A INTERPERIE	NO PRECISA		ENSAYO UND A. FINO A. GRUESO				
OBSERVACIONES	NINGUNA		P. ESPECIFICO DE MASA gr/cm ³ 2.57 2.63				
			% DE ABSORCIÓN % 0.65 1.00				
			CONTENIDO DE HUMEDAD % 1.86 0.32				
			MODULO DE FINEZA - 3.08 ---				
			TAMAÑO MÁX. NOMINAL " --- 3/4"				
			P. UNIT. COMPACTADO kg/m ³ 1765 1835				
			P. UNIT. SUELTO kg/m ³ 1634 1408				
PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)							
RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	315	kg/cm ²			
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO	A/C	=	0.503				
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m ³	Tabla		
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%	tabla		
FACTOR CEMENTO	F.C	=	9.6	bol/m ³			
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G	=	922.87	kg/m ³			
DISEÑO							
1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			4. CORRECCION POR HUMEDAD				
CEMENTO	=	0.131 m ³	PESOS HUMEDOS				
AGUA	=	0.205 m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³		
AIRE	=	0.020 m ³	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³		
A. GRUESO	=	0.351 m ³	HUMEDAD SUPERFICIAL				
TOTAL	=	0.707 m ³	A. FINO	1.21	%		
			A. GRUESO	-0.68	%		
2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO			APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS				
VOLUMEN ABSOLUTO:		0.293 m ³	A. FINO	9.12	lt/m ³		
PESO SECO:		754.306 kg/m ³	A. GRUESO	-6.24	lt/m ³		
			APORTE TOTAL	2.88			
3. VALORES DE DISEÑO			AGUA EFECTIVA				
CEMENTO :		407.555 kg/m ³	AGUA EFECTIVA	202.12	lt		
AGUA DE DISEÑO :		205.000 lt	5. PESOS CORREGIDOS				
A. FINO SECO :		754.306 kg/m ³	CEMENTO	407.55	kg/m ³		
A. GRUESO SECO :		922.873 kg/m ³	AGUA EFECTIVA	202.12	lt		
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO		10.000 kg/m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³		
			A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³		
			FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	10.00	kg/m ³		
RESULTADOS			CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO			1 Bolsa	1.9 Bolsa	2.27 Bolsa	1.04 kg	21.08 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO			1 pie ³	1.73 pie ³	2.42 pie ³	1.04 kg	21.08 L
REAJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEB POR SLUMP Y GRAVA:							
Cantidad de cemento	590.636	Kg/m ³	FACTOR CEMENTO		13.9	BOLSAS/M ³	
Agua de mezclado	297.090	Lt/m ³					
Arena	716.366	Kg/m ³					
Grava	757.977	Kg/m ³					
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	10.000	kg/m ³					
RESULTADOS			CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO			1 Bolsa	1.2 Bolsa	1.28 Bolsa	0.72 kg	21.38 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO			1 pie ³	1.11 pie ³	1.37 pie ³	0.72 kg	21.38 L
POR BALDE DE 15 LITROS EN OBRA			1	2.1	2.6	0.72 kg	1.4

Fuente: Elaboración propia

Diseño de mezcla concreto con fibra de alambre reciclado 15kg/m³

Tabla 24. Diseño de mezcla para concreto con fibra de alambre reciclado 15kg/m³

CERTIFICADO DE ENSAYO					
DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI					
PROYECTO:	Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16				
UBICACIÓN:	CHICLAYO - LAMBAYEQUE				
TESISTA:	Jaime Octavio Campos Berrú				
ESTRUCTURA:	CONCRETO - PAVIMENTO	f'c DISEÑO (kg/cm²):		280	
FECHA ENSAYO:	2023				
DATOS		MATERIALES			
f'c DISEÑO (Kg/cm ²)	280	CEMENTO	TIPO I (3.12)		
		AGUA	POTABLE (RED PÚBLICA)		
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	ADITIVOS	NINGUNO		
		AGREGADOS:	A. FINO (Cantera Pátapo La Victoria S.A.) A.GRUESO (TRES TOMAS)		
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	PLÁSTICA (SP. 3"-4")	ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO
		P. ESPECIFICO DE MASA	gr/cm ³	2.57	2.63
AIRE INCORPORADO	NO	% DE ABSORCIÓN	%	0.65	1.00
		CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.86	0.32
EXPOSICION A INTERPERIE	NO PRECISA	MODULO DE FINEZA	-	3.08	---
		TAMAÑO MÁX. NOMINAL	"	---	3/4"
OBSERVACIONES	NINGUNA	P. UNIT. COMPACTADO	kg/m ³	1765	1835
		P. UNIT. SUELTO	kg/m ³	1634	1408
PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)					
RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	315	kg/cm ²	
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO	A/C	=	0.503		
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m ³	Tabla
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%	tabla
FACTOR CEMENTO	F.C	=	9.6	bol/m ³	
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G	=	922.87	kg/m ³	
DISEÑO					
1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			4. CORRECCION POR HUMEDAD		
CEMENTO	=	0.131 m ³	PESOS HUMEDOS		
AGUA	=	0.205 m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³
AIRE	=	0.020 m ³	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³
A. GRUESO	=	0.351 m ³	HUMEDAD SUPERFICIAL		
TOTAL	=	0.707 m ³	A. FINO	1.21	%
			A. GRUESO	-0.68	%
			APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
			A. FINO	9.12	lt/m ³
			A. GRUESO	-6.24	lt/m ³
			APORTE TOTAL	2.88	
			AGUA EFECTIVA		
				202.12	lt
3. VALORES DE DISEÑO			5. PESOS CORREGIDOS		
CEMENTO :	407.555	kg/m ³	CEMENTO	407.55	kg/m ³
AGUA DE DISEÑO :	205.000	lt	AGUA EFECTIVA	202.12	lt
A. FINO SECO :	754.306	kg/m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³
A. GRUESO SECO :	922.873	kg/m ³	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	15.000	kg/m ³	FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	15.00	kg/m ³
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO	1 Bolsa	1.9 Bolsa	2.27 Bolsa	1.56 kg	21.08 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO	1 pie ³	1.73 pie ³	2.42 pie ³	1.56 kg	21.08 L
REAJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR SLUMP Y GRAVA:					
Cantidad de cemento	590.636	Kg/m ³	FACTOR CEMENTO	13.9	BOLSAS/M3
Agua de mezclado	297.090	Lt/m ³			
Arena	716.366	Kg/m ³			
Grava	757.977	Kg/m ³			
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	15.000	kg/m ³			
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO	1 Bolsa	1.2 Bolsa	1.28 Bolsa	1.08 kg	21.38 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO	1 pie ³	1.11 pie ³	1.37 pie ³	1.08 kg	21.38 L
POR BALDE DE 15 LITROS EN OBRA	1	2.1	2.6	1.08 kg	1.4

Fuente: Elaboración propia

Diseño de mezcla concreto con fibra de alambre reciclado 20kg/m³

Tabla 25. Diseño de mezcla para concreto con fibra de alambre reciclado 20kg/m³

CERTIFICADO DE ENSAYO						
DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI						
PROYECTO:	Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16					
UBICACIÓN:	CHICLAYO - LAMBAYEQUE					
TESISTA:	Jaime Octavio Campos Berrú					
ESTRUCTURA:	CONCRETO - PAVIMENTO	f'c DISEÑO (kg/cm²):		280		
FECHA ENSAYO:	2023					
DATOS		MATERIALES				
f'c DISEÑO (Kg/cm ²)	280	CEMENTO	TIPO I (3.12)			
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	AGUA	POTABLE (RED PÚBLICA)			
		ADITIVOS	NINGUNO			
		AGREGADOS:	A. FINO (Cantera Pátapo La Victoria S.A.) A.GRUESO (TRES TOMAS)			
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	PLÁSTICA (SP. 3"-4")	ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO	
		P. ESPECÍFICO DE MASA	gr/cm ³	2.57	2.63	
AIRE INCORPORADO	NO	% DE ABSORCIÓN	%	0.65	1.00	
		CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.86	0.32	
EXPOSICION A INTERPERIE	NO PRECISA	MODULO DE FINEZA	-	3.08	---	
		TAMAÑO MÁX. NOMINAL	"	---	3/4"	
OBSERVACIONES	NINGUNA	P. UNIT. COMPACTADO	kg/m ³	1765	1835	
		P. UNIT. SUELTO	kg/m ³	1634	1408	
PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)						
RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	315	kg/cm ²		
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO	A/C	=	0.503			
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m ³	Tabla	
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%	tabla	
FACTOR CEMENTO	F.C	=	9.6	bol/m ³		
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G	=	922.87	kg/m ³		
DISEÑO						
1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			4. CORRECCION POR HUMEDAD			
CEMENTO	=	0.131 m ³	PESOS HUMEDOS			
AGUA	=	0.205 m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³	
AIRE	=	0.020 m ³	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³	
A. GRUESO	=	0.351 m ³	HUMEDAD SUPERFICIAL			
TOTAL	=	0.707 m ³	A. FINO	1.21	%	
			A. GRUESO	-0.68	%	
			APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS			
			A. FINO	9.12	lt/m ³	
			A. GRUESO	-6.24	lt/m ³	
			APORTE TOTAL	2.88		
			AGUA EFECTIVA	202.12	lt	
2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO			5. PESOS CORREGIDOS			
VOLUMEN ABSOLUTO:	0.293	m ³	CEMENTO	407.55	kg/m ³	
PESO SECO:	754.306	kg/m ³	AGUA EFECTIVA	202.12	lt	
			A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³	
			A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³	
			FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	20.00	kg/m ³	
3. VALORES DE DISEÑO						
CEMENTO :	407.555	kg/m ³				
AGUA DE DISEÑO :	205.000	lt				
A. FINO SECO :	754.306	kg/m ³				
A. GRUESO SECO :	922.873	kg/m ³				
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	20.000	kg/m ³				
RESULTADOS						
		CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO		1 Bolsa	1.9 Bolsa	2.27 Bolsa	2.09 kg	21.08 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO		1 pie ³	1.73 pie ³	2.42 pie ³	2.09 kg	21.08 L
REAJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR SLUMP Y GRAVA:						
Cantidad de cemento	590.636	Kg/m ³	FACTOR CEMENTO	13.9	BOLSAS/M ³	
Agua de mezclado	297.090	Lt/m ³				
Arena	716.366	Kg/m ³				
Grava	757.977	Kg/m ³				
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	20.000	kg/m ³				
RESULTADOS						
		CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO		1 Bolsa	1.2 Bolsa	1.28 Bolsa	1.44 kg	21.38 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO		1 pie ³	1.11 pie ³	1.37 pie ³	1.44 kg	21.38 L
POR BALDE DE 15 LITROS EN OBRA		1	2.1	2.6	1.44 kg	1.4

*Fuente: Elaboración propia
Ilustración 17. Verificación de slump de diseño 3-4"*



Tabla 26. *Peso final de materiales por m³ de concreto*

Peso final de materiales por m ³ de concreto					
Componentes del concreto	Und	Losa Patrón	Losa	Losa	Losa
		1+20kg/m ³	2+10kg/m ³	1 + 15kg/m ³	1 + 20kg/m ³
Cemento	Kg/m ³	590.6	590.6	590.6	590.6
Agua	L	297.1	297.1	297.1	297.1
Agregado fino	Kg/m ³	716.4	716.4	716.4	716.4
Agregado grueso	Kg/m ³	758.0	758.0	758.0	758.0
Alambre reciclado	Kg/m ³	20	10	15	20

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. *Proporción de material por Bolsa de Cemento*

Peso final de materiales por Bolsa de Cemento					
Componentes del concreto	Und	Losa Patrón	Losa	Losa	Losa
		1+20kg/m ³	2+10kg/m ³	1 + 15kg/m ³	1 + 20kg/m ³
Cemento	Bolsa	1.0	1.0	1.0	1.0
Agua	L	21.4	21.4	21.4	21.4
Agregado fino	Kg	51.5	51.5	51.5	51.5
Agregado grueso	Kg	54.5	54.5	54.5	54.5
Alambre reciclado	Kg	1.44	0.72	1.08	1.44

Fuente: Elaboración propia

Tabla 28. Proporción de material por balde de 0.015m³

Proporción de materiales en balde de 0.015 m³					
Componentes del concreto	Und	Losa Patrón	Losa	Losa	Losa
		1+20kg/m³	2+10kg/m³	1 + 15kg/m³	1 + 20kg/m³
Cemento	Balde	1.0	2.0	3.0	4.0
Agua	Balde	1.4	1.4	1.4	1.4
Agregado fino	Balde	2.1	2.1	2.1	2.1
Agregado grueso	Balde	2.6	2.6	2.6	2.6
Alambre reciclado	kg	1.44	0.72	1.08	1.44

Fuente: Elaboración propia

Ensayos de laboratorio

6. En laboratorio se realizó 36 muestras para determinar la resistencia del concreto según NTP 339.034. El volumen de hormigón se calculó para 9 muestras suponiendo un 10 % de desperdicio.

Tabla 29. Cálculo de volumen para moldes de probetas

Moldes Probetas		
D=	10	0.0785
H=	20.4	0.0204
N° Porbetas	9	
Desperdicio	10%	1.05
Vol=	0.0151 m³	

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, calculamos la cantidad de fibra en kg aplicando regla de tres, para este volumen de concreto (9 probetas)

Tabla 30. Materiales según volumen de concreto

Materiales			
9 probetas pequeñas			0.0151 m3
Cantidad de cemento	590.64	Kg/m3	8.94 Kg
Agua de mezclado	297.09	Lt/m3	4.5 L
Arena	(húmedc 716.37	Kg/m3	10.85 Kg
Grava	(húmedc 757.98	Kg/m3	11.48 Kg

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Cálculo de la dosis de fibra según volumen de concreto

Fibra para 9 probetas - 0.0151 m3			
Fibra Comercial 20kg/m3	10kg/m3 alambre	15kgkg/m3 alambre	20kgkg/m3 alambre
0.303 kg	0.152 kg	0.227 kg	0.303 kg

Fuente: Elaboración propia

Pesamos las cantidades exactas de material para proceder el mezclado

Ilustración 18. Peso de materiales para el concreto



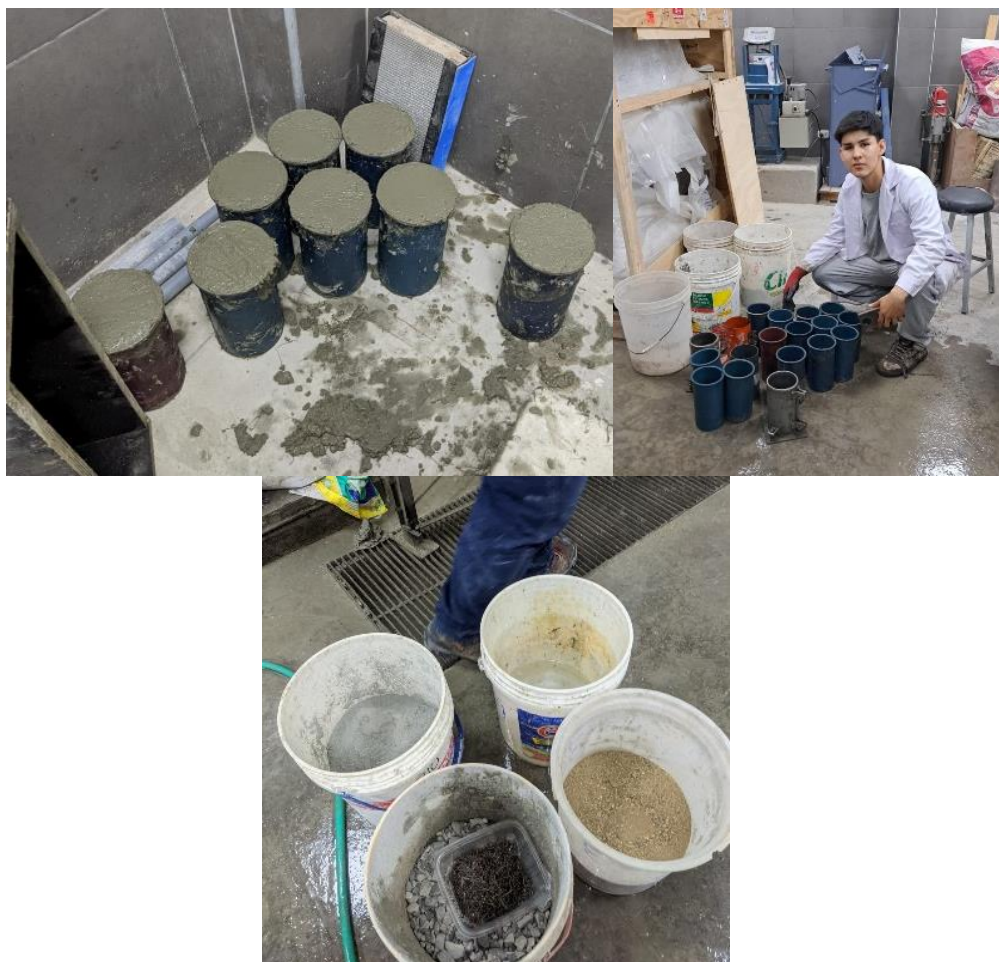
En esta etapa antes realizamos el ensayo de cono de abrams para conocer el slump.

Ilustración 19. Medición de slump



Realizamos el vaciado de las probetas, estos pasos se realizan para las 4 muestras de concreto fibrorreforzado, en total 36 probetas a edades de 7, 14 y 28 días de curado.

Ilustración 20. Realización de probetas de concreto



7. Posteriormente, se realizó las 12 moldes de vigas de 0.15m x 0.15m x 0.50m para determinar la resistencia a la flexión del concreto según la normativa técnica peruana 339.078

Para ello se calculó la cantidad fibra para 3 moldes de viga ya que serán evaluadas para posteriormente ser promediadas a 28 días de edad, esto se sacó con regla de tres en base al volumen de concreto de las 9 probetas usando.

Tabla 32. Cálculo de fibra para vigas

Fibra para 3 Moldes de vigas - 0.0439 m ³			
Fibra Comercial 20kg/m ³	10kg/m ³ alambre	5kgkg/m ³ alamb	20kgkg/m ³ alambre
0.878 kg	0.439 kg	0.658 kg	0.878 kg

Ilustración 21. Vaciado de concreto para vigas



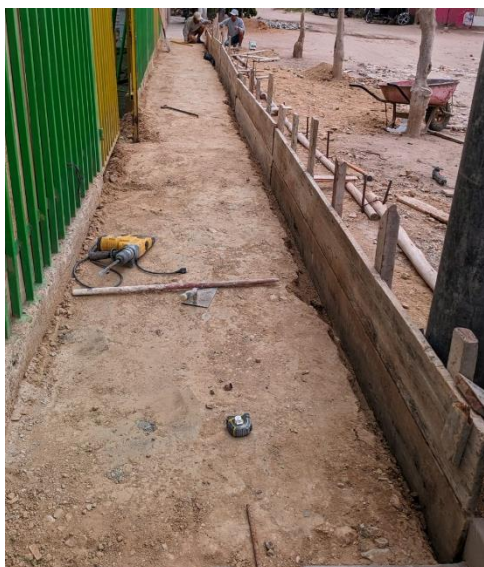
Fuente: Elaboración propia

8. Ensayos de campo

Se realizó el vaciado de concreto en 4 losas de 4.8m² cada una para poder evaluar las fisuras por retracción plástica mediante la norma ACI 224.1R con un clima muy favorable alrededor de 30° de temperatura para la aparición de este fenómeno y así determinar la variación de longitud, ancho, tiempo, área, con una ficha de observación para extraer toda la información y posteriormente analizar los resultados estadísticamente.

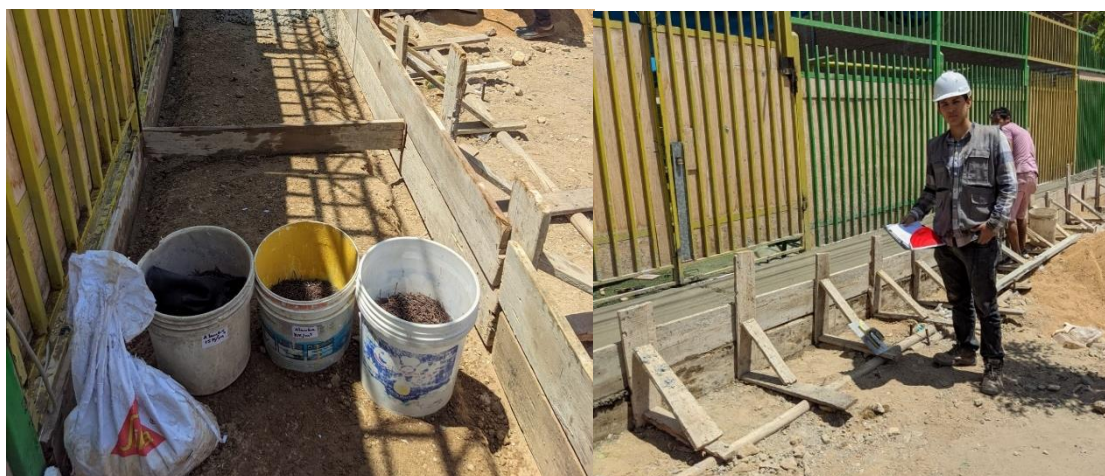
- **Preparación y compactación del terreno**

Ilustración 22. Preparación y compactación del terreno



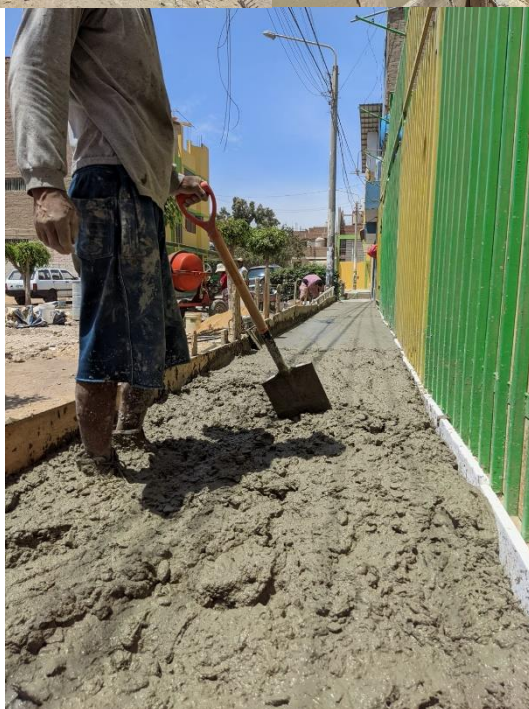
- **Dosificación de fibra para cada losa**

Ilustración 23. Dosificación de fibra y encofrado de losas.



- **Vaciado de losas**

Ilustración 24. Vaciado de concreto para la evaluación de fisuras con retracción plástica



- **Realización de ensayos de revenimiento**

Ilustración 25. Ensayo de cono de abrams en campo



- **Vibrado de concreto**



- **Parámetros de medición**

Ilustración 26. Anemómetro para medir la velocidad del viento y temperatura ambiental



Ilustración 27. Termómetro para medir la temperatura del concreto



Ilustración 28. Medición de la temperatura del concreto



- **Evaluación de fisuras por retracción plástica en cada losa**

Ilustración 29. Ficha de observación para la evaluación de fisuras

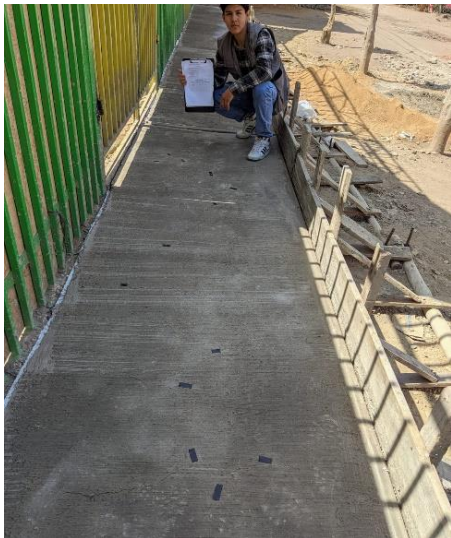


Ilustración 30. Tarjeta de medición de fisuras y grietas



9. Rotura de probetas cilíndricas y vigas para la evaluación de resistencia

Ilustración 31. Rotura de vigas en condiciones de laboratorio



Resultados

- **Determinación de la dosificación óptima de fibra para controlar las fisuras por retracción plástica empleando alambre N° 16 reciclado**
- **Elaborar losas de concreto fibrorreforzadas con alambre reciclado N° 16 adicionando dosificaciones de 10, 15 y 20kg/m³ vs concreto patrón con fibra comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB para evaluar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido.**

Una vez completada la construcción de los tramos de prueba, se procedió a evaluar las fisuras por retracción plástica siguiendo las directrices del ACI 224.1R-07, "Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón". Esta evaluación se llevó a cabo utilizando una ficha de observación detallada, en la cual se registraron diversos datos: la cantidad de fisuras, la hora de aparición, el ancho, la longitud, el área afectada, la temperatura del concreto, la velocidad del viento, la temperatura ambiente y la clasificación de las fisuras para cada losa de concreto.

El vertido de los cuatro tramos de concreto, cada uno con dimensiones de 1.2 x 4 x 0.15 metros, se realizó el domingo 29 de octubre de 2023. Este día soleado y favorable resultó ideal para alcanzar los objetivos planteados en la investigación.

Tabla 33. Ficha de observación para le evaluación de fisuras - Concreto Patrón Fibra de acero Comercial 20 kg/m³

FICHA DE OBSERVACION PARA DETERMINAR LA MAGNITUD DE FISURACIÓN EN LOS PAÑOS DE PRUEBA	
Presentado por	Jaime Octavio Campos Berru
Tesis: Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando dosificaciones de fibras de alambre reciclado N°16	

DATOS PRELIMINARES	
Nombre del paño de prueba	Concreto Patrón Fibra de acero Comercial
Volumen del paño (m ³)	0.72 m ³
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm ²
Fecha de vaciado	29/10/2023
Hora de inicio del vaciado	11:15pm
Hora de fin del vaciado	12:00pm
Slump (pulg)	4
Dosificación de fibra (kg/m ³)	20kg/m ³
Dosificación de fibra (kg)	14.4 kg
Temperatura del concreto al inicio del vaciado (C°)	30.5°

REGISTRO DE FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA - ACI 224.1R-07

FISURA	HORA DEL BROTE	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Temperatura del concreto al brotar fisura (C°)	Velocidad del viento al brotar fisura (m/s)	Temperatura del ambiente al brotar fisura (C°)	Clasificación según ancho
F1	1:50 p. m.	0.4	160	64	29.5	1.2	27	Macrofisura
F2	1:54 p. m.	0.9	600	540	29.4	1	27	Grieta
F3	2:00 p. m.	0.6	210	126	29.5	0.8	27	Grieta
F4	2:15 p. m.	0.7	270	189	30	0.6	27	Grieta
F5	2:15 p. m.	0.5	350	175	30	0.4	27	Grieta
F6	2:20 p. m.	0.4	120	48	30	0.2	27	Macrofisura
F7	2:30 a. m.	0.3	110	33	30	1.2	27	Macrofisura
F8	2:32 p. m.	1.2	850	1020	30	1	27	Grieta
F9	2:34 p. m.	0.9	650	585	30	0.8	27	Grieta
F10	2:40 a. m.	0.3	170	51	30	0.6	27	Macrofisura
F11	2:40 p. m.	0.6	360	216	30	0.4	27	Grieta
F12	2:40 p. m.	0.3	100	30	30	0.2	27	Macrofisura
F13	2:40 p. m.	0.9	1000	900	30	1.2	27	Grieta
F14	2:45 p. m.	0.4	300	120	30	1	27	Macrofisura
F15	2:50 p. m.	0.5	420	210	30	0.8	27	Grieta
F16	3:00 p. m.	0.5	200	100	30	0.6	27	Grieta
F17	3:00 p. m.	0.3	260	78	30	0.4	27	Macrofisura
F18	3:05 p. m.	0.4	180	72	30	0.2	27	Macrofisura
F19	3:05 p. m.	0.7	300	210	30	0.4	27	Grieta
F20	3:05 p. m.	0.5	110	55	30	0.4	27	Macrofisura
Total		11.30	6720	4822.00				
Promedio		0.57	336.00	241.10	29.9	0.67	27	

Fuente: Elaboración Propia

La evaluación de fisuras por retracción plástica en la losa con adición de fibra de acero comercial en 20kg/m³, presentó 20 fisuras; 11 grietas y 9 macrofisuras clasificadas según su ancho; con un área total de 4822mm², un ancho promedio de 0.57mm y longitud promedio de 336mm.

Ilustración 32. Fisuras en Losa + 20 kg/m³ fibra comercial



Ilustración 33. Fisuras en Losa + fibra acero Comercial 20 kg/m³



Ilustración 34. Fisuras en Losa + 20 kg/m³ fibra comercial

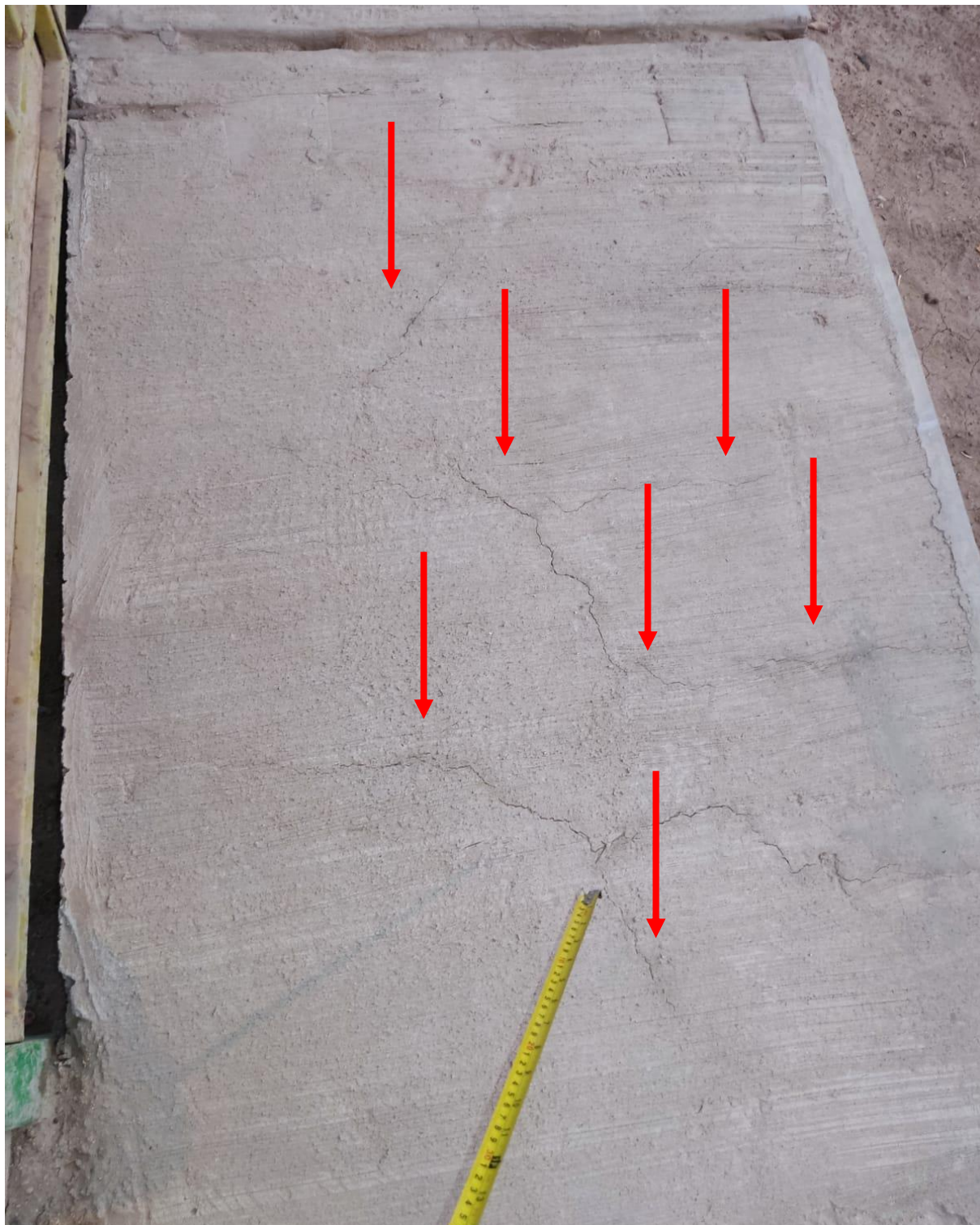


Ilustración 35. Fisuras en Losa + 20 kg/m³ fibra comercial



Tabla 34. Ficha de observación para le evaluación de fisuras - Concreto + 10kg/m³ Alambre reciclado N° 16

FICHA DE OBSERVACION PARA DETERMINAR LA MAGNITUD DE FISURACIÓN EN LOS PAÑOS DE PRUEBA	
Presentado por	Jaime Octavio Campos Berru
Tesis: Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando dosificaciones de fibras de alambre reciclado N°16	

DATOS PRELIMINARES	
Nombre del paño de prueba	Concreto + 10kg/m ³ Alambre reciclado
Volumen del paño (m ³)	0.72 m ³
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm ²
Fecha de vaciado	29/10/2023
Hora de inicio del vaciado	12:00pm
Hora de fin del vaciado	12:25pm
Slump (pulg)	4
Dosificación de fibra (kg/m ³)	10kg/m ³
Dosificación de fibra (kg)	7.2 kg
Temperatura del concreto al inicio del vaciado (C°)	31.2°

REGISTRO DE FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA - ACI 224.1R-07

FISURA	HORA DEL BROTE	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Temperatura del concreto al brotar fisura (C°)	Velocidad del viento al brotar fisura (m/s)	Temperatura del ambiente al brotar fisura (C°)	Clasificación según ancho
F1	2:15 p. m.	1	780	780	30.5	0.5	27	Grieta
F2	2:20 p. m.	0.8	150	120	30.5	0.4	27	Grieta
F3	2:20 p. m.	0.6	100	60	30.5	0	27	Grieta
F4	2:20 p. m.	0.7	220	154	30.2	0	27	Grieta
F5	2:20 p. m.	0.9	320	288	30.2	0	27	Grieta
F6	2:30 p. m.	1.3	110	143	30.2	0	27	Grieta
F7	2:30 p. m.	1.1	350	385	30.2	0	27	Grieta
F8	3:25 p. m.	0.8	750	600	30	0	27	Grieta
F9	3:30 p. m.	0.5	110	55	30.5	0.8	27	Grieta
F10	3:35 p. m.	0.5	190	95	30.5	0.6	27	Grieta
F11	3:35 p. m.	0.5	100	50	30.5	0.4	27	Grieta
F12	3:36 p. m.	1.2	520	624	30.5	0.2	27	Grieta
F13	3:36 p. m.	0.3	70	21	30.5	1.2	27	Macrofisura
F14	3:40 p. m.	0.7	430	301	30.5	1	27	Grieta
F15	3:50 p. m.	0.4	230	92	30.5	0.8	27	Macrofisura
F16	3:55 p. m.	0.5	500	250	30.5	0.6	27	Grieta
F17	3:58 p. m.	0.3	100	30	30.5	0.4	27	Macrofisura
F18	4:00 p. m.	0.25	70	17.5	30.5	0.2	26	Fisura
F19	4:00 p. m.	1	900	900	30.5	0.4	26	Grieta
F20	4:00 p. m.	0.6	440	264	30.5	0.4	26	Grieta
F21	4:00 p. m.	0.5	140	70	30.5	1	26	Grieta
F22	4:00 p. m.	0.7	300	210	30.5	1	26	Grieta
F23	4:00 p. m.	0.4	230	92	30.5	1	26	Macrofisura
Total		15.55	7110	5601.50				
Total		0.68	309.13	243.54	30.4	0.47	26.7	

Fuente: Elaboración Propia

La evaluación de fisuras por retracción plástica en la losa con adición de fibra de alambre reciclado N°16 en 10kg/m³, presentó 23 fisuras; 18 grietas, 4 macrofisuras y 1 fisura clasificadas según su ancho; con un área total fisuración de 5601.50mm², un ancho promedio de 0.68mm y longitud promedio de 309.13 mm

Ilustración 36. Fisuras en Losa + 10 kg/m³ fibra de alambre



Ilustración 37. Fisuras en Losa + 10 kg/m³ fibra de alambre



Ilustración 38. Fisuras en Losa + 10 kg/m³ fibra de alambre



Tabla 35. Ficha de observación para le evaluación de fisuras - Concreto + 15kg/m³ Alambre reciclado N° 16

FICHA DE OBSERVACION PARA DETERMINAR LA MAGNITUD DE FISURACIÓN EN LOS PAÑOS DE PRUEBA	
Presentado por	Jaime Octavio Campos Berru
Tesis: Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando dosificaciones de fibras de alambre reciclado N°16	

DATOS PRELIMINARES	
Nombre del paño de prueba	Concreto + 15kg/m ³ Alambre reciclado
Volumen del paño (m ³)	0.72 m ³
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm ²
Fecha de vaciado	29/10/2023
Hora de inicio del vaciado	12:25pm
Hora de fin del vaciado	12:40pm
Slump (pulg)	3.5
Dosificación de fibra (kg/m ³)	15kg/m ³
Dosificación de fibra (kg)	10.8 kg
Temperatura del concreto al inicio del vaciado (C°)	32.1°

REGISTRO DE FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA - ACI 224.1R-07

FISURA	HORA DEL BROTE	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Temperatura del concreto al brotar fisura (C°)	Velocidad del viento al brotar fisura (m/s)	Temperatura del ambiente al brotar fisura (C°)	Clasificación según ancho
F1	2:26 p. m.	0.3	400	120	32.6	0.5	27	Macrofisura
F2	2:28 p. m.	0.2	200	40	32.6	0.4	27	Fisura
F3	2:30 p. m.	0.25	160	40	32.6	0	27	Macrofisura
F4	2:40 p. m.	0.25	200	50	32	0	27	Macrofisura
F5	2:41 p. m.	0.3	80	24	32	0	27	Macrofisura
F6	2:42 p. m.	0.25	300	75	32	0	27	Macrofisura
F7	2:43 p. m.	0.4	300	120	32	0	27	Macrofisura
F8	3:50 p. m.	0.3	140	42	30	0	27	Macrofisura
Total		2.25	1780	511.00				
Promedio		0.28	222.50	63.88	32.0	0.11	27.0	

Fuente: Elaboración Propia

La evaluación de fisuras por retracción plástica en la losa con adición de fibra de alambre reciclado N°16 en 15kg/m³, presentó 8 fisuras; 7 macrofisuras y 1 fisura clasificadas según su ancho; con un área total fisuración de 511mm², un ancho y longitud promedio de fisura de 0.28mm y 222.50 respectivamente.

Ilustración 39. Fisuras en Losa + 15 kg/m³ fibra de alambre



Ilustración 40. Fisuras en Losa + 15 kg/m³ fibra de alambre



Tabla 36. Ficha de observación para le evaluación de fisuras - Concreto + 20kg/m³ Alambre reciclado N° 16

FICHA DE OBSERVACION PARA DETERMINAR LA MAGNITUD DE FISURACIÓN EN LOS PAÑOS DE PRUEBA	
Presentado por	Jaime Octavio Campos Berru
Tesis: Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando dosificaciones de fibras de alambre reciclado N°16	

DATOS PRELIMINARES	
Nombre del paño de prueba	Concreto + 20kg/m ³ Alambre reciclado
Volumen del paño (m ³)	0.72 m ³
Resistencia del concreto (f'c)	280 kg/cm ²
Fecha de vaciado	29/10/2023
Hora de inicio del vaciado	12:40pm
Hora de fin del vaciado	1:13pm
Slump (pulg)	3.5
Dosificación de fibra (kg/m ³)	20kg/m ³
Dosificación de fibra (kg)	14.4 kg
Temperatura del concreto al inicio del vaciado (C°)	31.8°

REGISTRO DE FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA - ACI 224.1R-07

FISURA	HORA DEL BROTE	Ancho (mm)	Longitud (mm)	Área (mm ²)	Temperatura del concreto al brotar fisura (C°)	Velocidad del viento al brotar fisura (m/s)	Temperatura del ambiente al brotar fisura (C°)	Clasificación según ancho
F1	2:26 p. m.	0.25	220	55	32.6	0	27	Macrofisura
F2	2:28 p. m.	0.1	80	8	32.6	0.4	27	Fisura
F3	2:30 p. m.	0.4	360	144	32.6	0.5	27	Macrofisura
F4	9:36 a. m.	0.3	230	69	32	0.1	27	Macrofisura
F5	2:41 p. m.	0.25	230	57.5	32	0	27	Macrofisura
F6	2:42 p. m.	0.1	200	20	32	0	27	Macrofisura
Total		1.40	1320	353.50				
Promedio		0.23	220.00	58.92	32.3	0.17	27.0	

Fuente: Elaboración Propia

La evaluación de fisuras por retracción plástica en la losa con adición de fibra de alambre reciclado N°16 en 15kg/m³, presentó 6 fisuras; 5 macrofisuras y 1 fisura clasificadas según su ancho; con un área total fisuración de 353.50mm², un ancho y longitud promedio de fisura de 0.23mm y 220mm respectivamente.

Ilustración 41. Losa + 20 kg/m³ fibra de alambre



Ilustración 42. Losa + 20 kg/m³ fibra de alambre



Ilustración 43. Losa + 20 kg/m³ fibra de alambre



Ilustración 44. Losa + 20 kg/m³ fibra de alambre



Tabla 37. Resumen de resultados de evaluación de fisuras por retracción plástica en el concreto.

Nro.	Losa	N° de fisuras	Longitud promedio de fisuras (mm)	Ancho promedio de Fisuras (mm)	Área total de fisuras (mm ²)	Área promedio de fisuras (mm ²)	CRR - Coeficiente de relación de reducción de fisuras	CRR - Relación de reducción de fisuras %
1	Concreto Fibra de acero Comercial 20kg/m ³	20	336.00	0.57	4822.00	241	-	-
2	Concreto + 10kg/m ³ Alambre reciclado	23	309.13	0.68	5601.50	243.5	-0.20	-19.7%
3	Concreto + 15kg/m ³ Alambre reciclado	8	222.50	0.28	511.00	63.9	0.50	50.2%
4	Concreto + 20kg/m ³ Alambre reciclado	6	220.00	0.23	353.50	58.9	0.59	58.7%

Fuente: *Elaboración Propia*

Según la evaluación in-situ, en las cuatro losas de concreto fibrorreforzado, se determinaron las dimensiones (longitud, ancho y área) de las fisuras para las diferentes dosificaciones de concreto con fibra de alambre reciclado N° 16 y el concreto de patrón con fibra de acero SikaFiber® CHO 65/35 NB. Se observó que el concreto adicionado con 20 kg/m³ de alambre reciclado N° 16 presenta un mejor desempeño en el control de fisuras por retracción plástica, reduciendo este fenómeno en un 58.7% en comparación con el concreto de referencia que contiene la misma dosificación de 20 kg/m³ de fibra comercial de acero. Este concreto exhibe una menor longitud, ancho y área promedio de fisuras en comparación con las otras muestras. Por otro lado, el concreto con adición de 15 kg/m³ de alambre reciclado reduce la aparición de fisuras en un 50.2% en comparación con el concreto de patrón. Sin embargo, el concreto con fibra de alambre reciclado a 10 kg/m³ no presenta una reducción de fisuras en comparación con el concreto de referencia con fibra comercial a 20 kg/m³; de hecho, muestra un valor negativo de -19.2% en el coeficiente de reducción de fisuras (CRR), indicando un mayor porcentaje de fisuras en comparación con el concreto de patrón con adición de fibra comercial a 20 kg/m³. Este último es el paño que presenta la menor reducción porcentual de fisuras por retracción plástica.

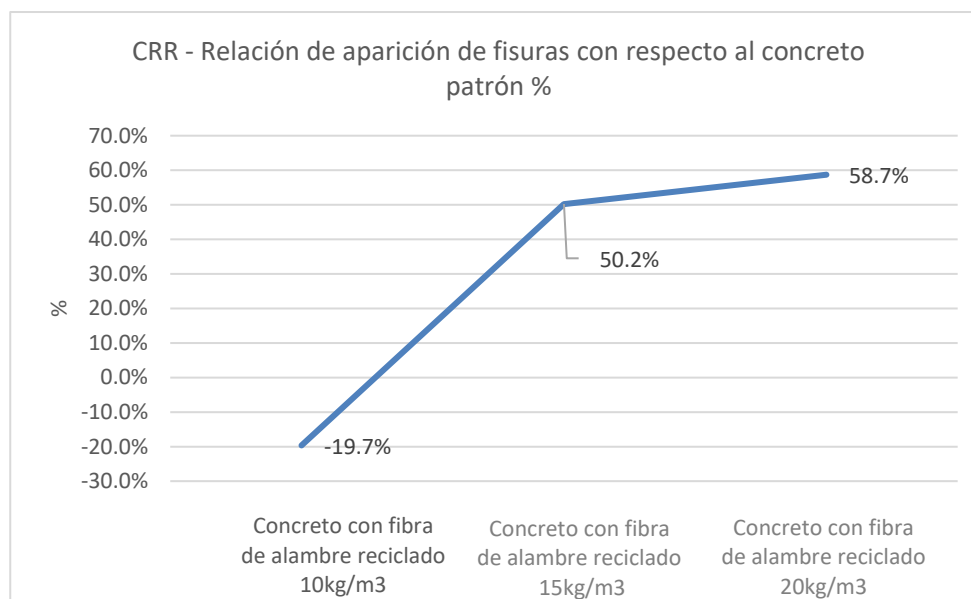
- **Resultados de la Relación de reducción de fisuras (CRR) con respecto al concreto patrón empleando alambre reciclado N° 16**

Tabla 38. Relación de reducción de fisuras (CRR)

Nro.	Losa	Área promedio de fisuras (mm ²)	CRR - Coeficiente de relación de reducción de fisuras	CRR - Relación de reducción de fisuras %
1	Concreto Fibra de acero Comercial 20kg/m ³	241	-	-
2	Concreto + 10kg/m ³ Alambre reciclado	243.5	-0.20	-19.7%
3	Concreto + 15kg/m ³ Alambre reciclado	63.9	0.50	50.2%
4	Concreto + 20kg/m ³ Alambre reciclado	58.9	0.59	58.7%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3. Relación de reducción de fisuras (CRR) con respecto al concreto patrón



Fuente: Elaboración Propia

Conforme al estándar ASTM - C1579, que establece el Método de Prueba Estándar para Evaluar el Agrietamiento por Contracción Plástica del Hormigón Reforzado con Fibras, el coeficiente de reducción de grietas (CRR) se determina restando la unidad de la relación entre la anchura promedio de la grieta en la mezcla de concreto reforzado con fibra propuesta y la anchura promedio de la grieta en el concreto de referencia. Valores cercanos al 100% indican un comportamiento superior en la reducción de fisuras. En nuestra evaluación, el concreto con fibra de alambre reciclado a una dosis de 20 kg/m³ muestra un CRR del 58.7%, mientras que

el concreto con la misma fibra a una dosificación de 15 kg/m³ exhibe un CRR del 50.2%, lo que indica resultados positivos en comparación con la dosificación de 10 kg/m³, que presenta un CRR negativo. Esto sugiere una falta de reducción de fisuras en relación con el concreto de referencia reforzado con fibra de acero comercial, mostrando, por el contrario, un mayor porcentaje de aparición de fisuras.

- **Resultados de la caracterización de la fibra de alambre reciclado N° 16**

Tabla 39. Propiedades físicas de la fibra de alambre reciclado N° 16

Propiedades físicas	
Longitud	50 mm
Diámetro	1.5mm
Relación	33
Peso	1.09gr

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40. Propiedades mecánicas y químicas de la fibra de alambre reciclado N° 16

Propiedades mecánicas	
Tracción	1244.15 MPa
Rotura	7.60%
Módulo de elasticidad	657 MPa
Oxidación	4.38%

Fuente: Elaboración Propia

De las propiedades físicas y mecánicas de nuestra fibra, se estableció que esta logra clasificarse como Tipo I, es decir, alambre estirado en frío, de acuerdo con la normativa ASTM 820. La resistencia a la tracción del alambre reciclado se ha medido en 1244.15 MPa, cumpliendo así con la norma ASTM 820 para fibras de acero destinadas al refuerzo de concreto, que especifica que dicha resistencia no debe ser inferior a 310 MPa, siendo este el criterio principal en la evaluación.

Además, se observa una elongación a la rotura de 7.60%, un módulo de elasticidad de 657 MPa y una tasa de oxidación del 4.38%. Cabe destacar que conforme al apartado 9.1.2 de la normativa ASTM 820, el óxido u otros recubrimientos no deben constituir motivo de rechazo en las fibras, siempre y cuando estas se separen durante el proceso de mezclado del concreto.

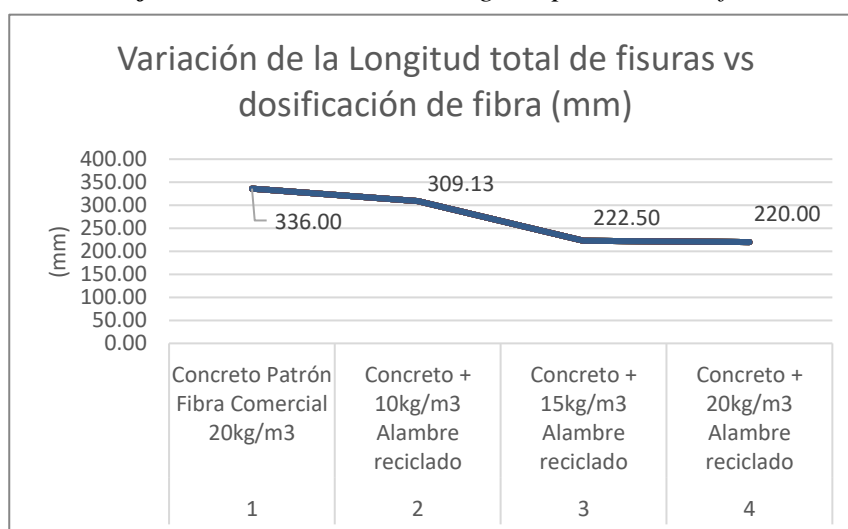
- **Resultados de longitud de fisuras por retracción plástica empleando alambre reciclado N° 16**

Tabla 41. Longitud promedio de fisuras

Nro	Losa	N° de fisuras	Longitud promedio de fisuras (mm)
1	Concreto Fibra de acero Comercial 20kg/m ³	20	336.00
2	Concreto + 10kg/m ³ Alambre reciclado	23	309.13
3	Concreto + 15kg/m ³ Alambre reciclado	8	222.50
4	Concreto + 20kg/m ³ Alambre reciclado	6	220.00

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 4. Variación de la longitud promedio de fisuras



Fuente: Elaboración Propia

Al analizar los datos presentados en el gráfico 4, la longitud promedio de las fisuras en la muestra de referencia, que contiene fibra de acero comercial, es de 336 mm, representando el 100%. Por otro lado, las muestras de concreto con adiciones de fibra de alambre reciclado a 10, 15 y 20 kg/m³ muestran longitudes promedio de fisuras de 309.13 mm, 222.50 mm y 220 mm respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que las muestras con adiciones de fibras de alambre reciclado a 10 kg/m³, 15 kg/m³ y 20 kg/m³ reducen la longitud promedio de las fisuras en un 8%, 33.8% y 34.5% respectivamente en comparación con el concreto de referencia reforzado con fibra de acero comercial.

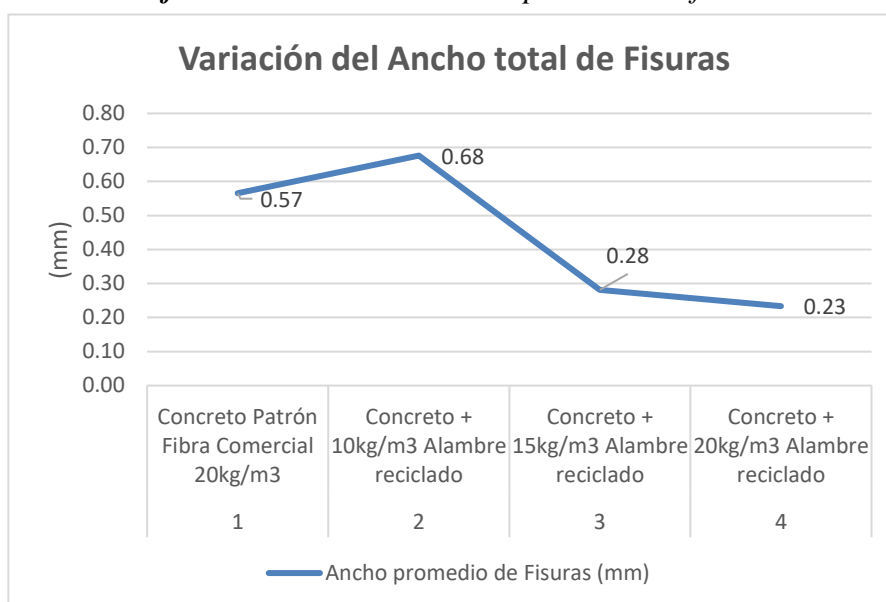
- **Resultados de ancho de fisuras por retracción plástica empleando alambre reciclado N° 16**

Tabla 42. Ancho promedio de fisuras

Nro.	Losa	N° de fisuras	Ancho promedio de Fisuras (mm)
1	Concreto Fibra de acero Comercial 20kg/m ³	20	0.57
2	Concreto + 10kg/m ³ Alambre reciclado	23	0.68
3	Concreto + 15kg/m ³ Alambre reciclado	8	0.28
4	Concreto + 20kg/m ³ Alambre reciclado	6	0.23

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5. Variación del ancho promedio de fisuras



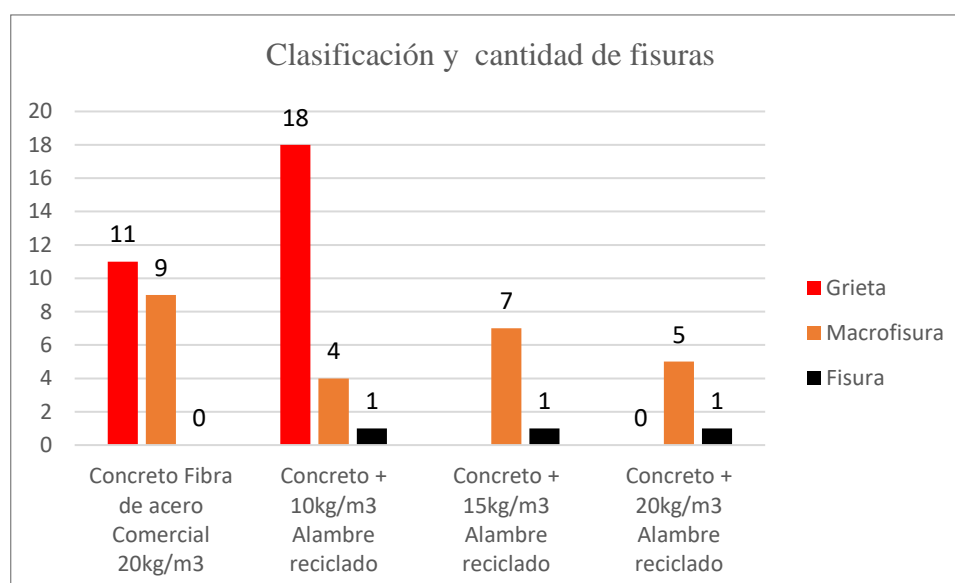
Fuente: Elaboración Propia

Al analizar el gráfico 5, vemos que el ancho promedio de las fisuras en la muestra de referencia, que contiene fibra de acero comercial, es de 0.57 mm, representando el 100%. Por otro lado, las muestras de concreto con adiciones de fibra de alambre reciclado a 10, 15 y 20 kg/m³ muestran un ancho promedio de fisuras de 0.68 mm, 0.28 mm y 0.23 mm respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que las muestras con adiciones de fibras de alambre reciclado en 15 kg/m³ y 20 kg/m³ reducen el ancho promedio de las fisuras en un 50.9% y 59.7% respectivamente, mientras que la muestra con 10 kg/m³ las aumenta en 19.3% en comparación con el concreto de referencia reforzado con 20 kg/m³ de fibra de acero comercial.

Tabla 43. Clasificación y cantidad de fisuras

Muestra	Tipo de fisura			
	Grieta	Macrofisura	Fisura	Microfisuras
Concreto Fibra de acero Comercial 20kg/m ³	11	9	0	0
Concreto + 10kg/m ³ Alambre reciclado	18	4	1	0
Concreto + 15kg/m ³ Alambre reciclado	0	7	1	0
Concreto + 20kg/m ³ Alambre reciclado	0	5	1	0

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 6. Clasificación y cantidad de fisuras por dosificación kg/m³

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo con [1] las fisuras se dividen en microfisuras, para aquellas con un ancho inferior a 0.05 mm; fisuras, para aquellas con un ancho de 0.1 a 0.2 mm; macrofisuras, para aquellas con un ancho de 0.2 a 0.4 mm; y grietas, para aquellas con un ancho superior a 0.4 mm. En el presente estudio, se empleó una tarjeta comparadora de fisuras para medir los anchos de cada una de estas. Se observó que, para el concreto de referencia aparecieron 11 grietas y 9 macrofisuras, siendo predominante las grietas. Para el concreto con adición de alambre reciclado a una dosificación de 10 kg/m³, se generaron 18 grietas, 4 macrofisuras y 1 fisura, siendo predominante las grietas. Sin embargo, en el concreto con adición de alambre reciclado a 15 kg/m³ y 20 kg/m³ no se observaron grietas, solo 7 y 5 macrofisuras, respectivamente y 1 fisura en cada tramo de prueba, predominando las macrofisuras. Esto representa una reducción del 100% en la aparición de grietas para los concretos con adición de 15 y 20 kg/m³.

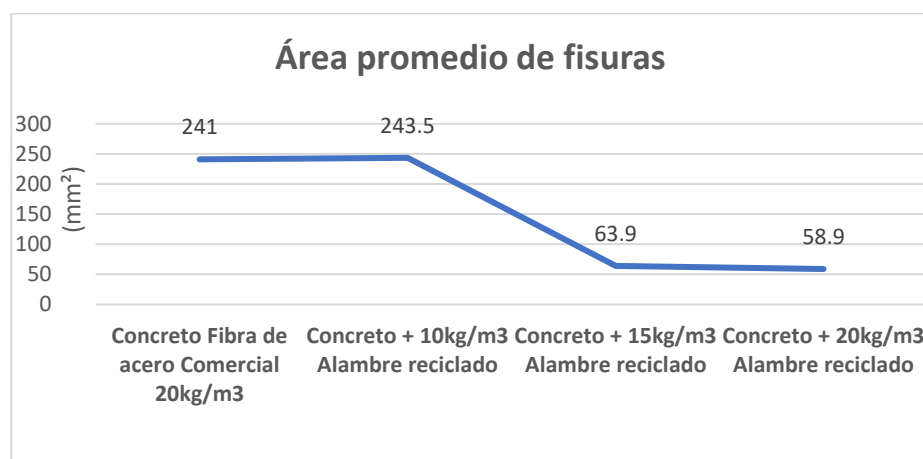
- **Resultados de la estimación de la variación del área de fisuras por retracción plástica empleando alambre reciclado N° 16**

Tabla 44. Área promedio de fisuras (mm²)

Losa	N° de fisuras	Área promedio de fisuras (mm ²)
Concreto Fibra de acero Comercial 20kg/m ³	20	241
Concreto + 10kg/m ³ Alambre reciclado	23	243.5
Concreto + 15kg/m ³ Alambre reciclado	8	63.9
Concreto + 20kg/m ³ Alambre reciclado	6	58.9

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 7. Área promedio de fisuras (mm²)



Fuente: Elaboración Propia

Al analizar el gráfico 6, se puede apreciar que el área promedio de las fisuras en la muestra de referencia, que contiene fibra de acero comercial, es de 241mm², representando el 100%. Por otro lado, las muestras de concreto con adiciones de fibra de alambre reciclado a 10, 15 y 20 kg/m³ muestran un área promedio de fisuras de 243.5 mm, 63.9 mm y 58.9 mm respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que las muestras con adiciones de fibras de alambre reciclado a 15 kg/m³ y 20 kg/m³ reducen el área de las fisuras en un 73.5% y 75.6% respectivamente en comparación con el concreto de referencia reforzado con fibra de acero comercial. Mientras que el concreto con adición de alambre reciclado en 10 kg/m³ presenta ligeramente un área mayor de fisuras en %1.03 respecto al concreto patrón.

• **Resultados de compresión**

Gráfico 9. Concreto Patrón con Fibra Comercial de acero 20kg/m³

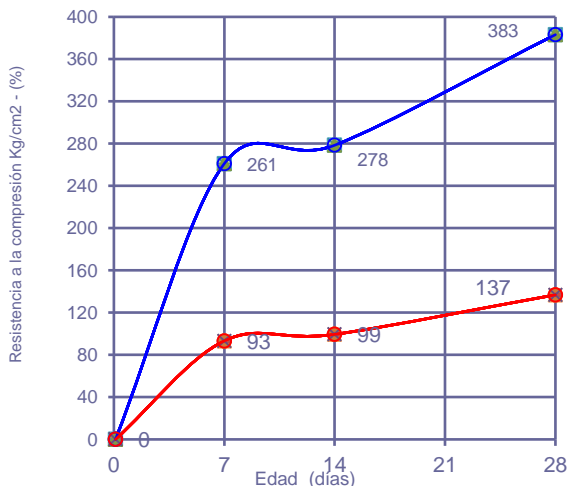


Gráfico 8. Concreto con adición de Fibra de Alambre N°16 - 10 kg/m³

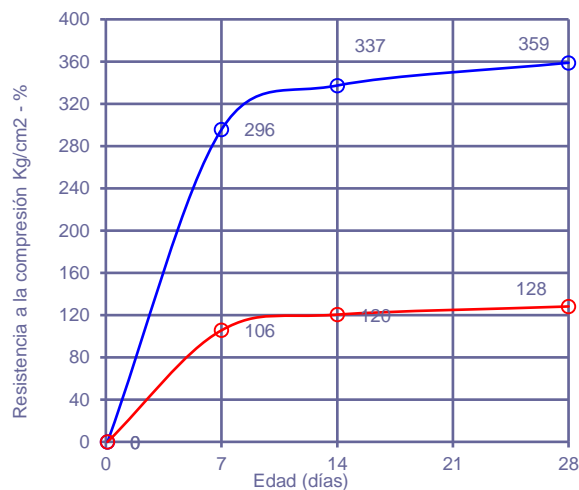


Gráfico 10. Concreto con adición de Fibra de Alambre N°16 - 15kg/m³

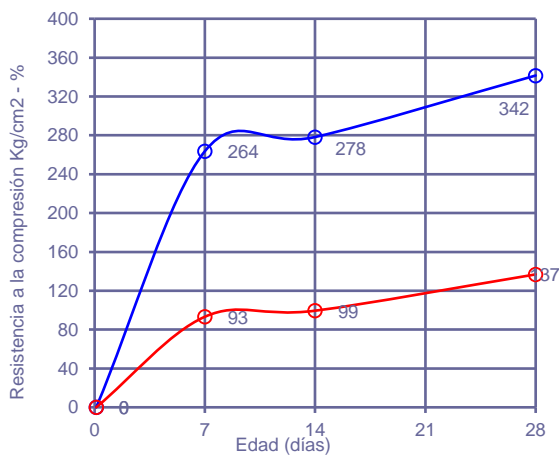
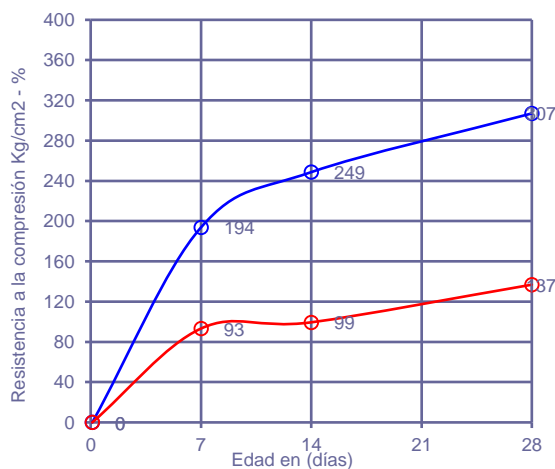


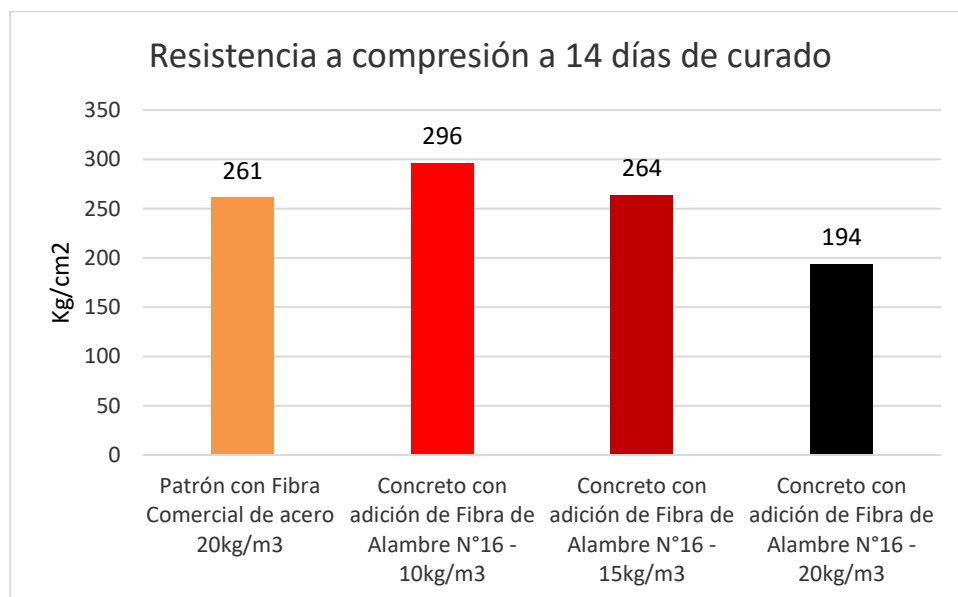
Gráfico 11. Concreto con adición de Fibra de Alambre N°16 - 20kg/m³



Fuente: *Elaboración Propia*

Resumen de resultados a los 7 días de edad

Gráfico 12. Ensayo de resistencia a compresión a los 7 días

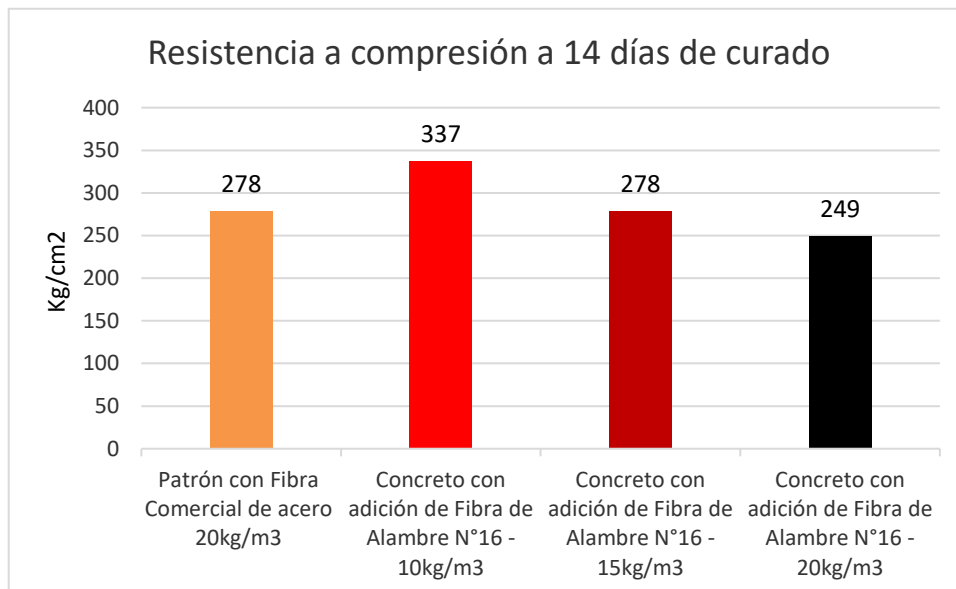


Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia que la resistencia a la compresión de la muestra con fibra comercial a los 7 días de edad es de 261 Kg/cm² lo que equivale a un 100%, por ello es que la muestra con fibras de alambre reciclado en 10kg/m³ aumenta la resistencia a la compresión en un 13.4%, la fibra de alambre reciclado en 15kg/m³ aumenta la resistencia en 1.1% y la fibra de alambre reciclado en 20 kg/m³ reduce la resistencia en un 25.7%, teniendo que a mayor fibra de alambre reciclado menor resistencia a compresión.

Resumen de resultados a los 14 días de edad

Gráfico 13. Ensayo de resistencia a compresión a los 14 días

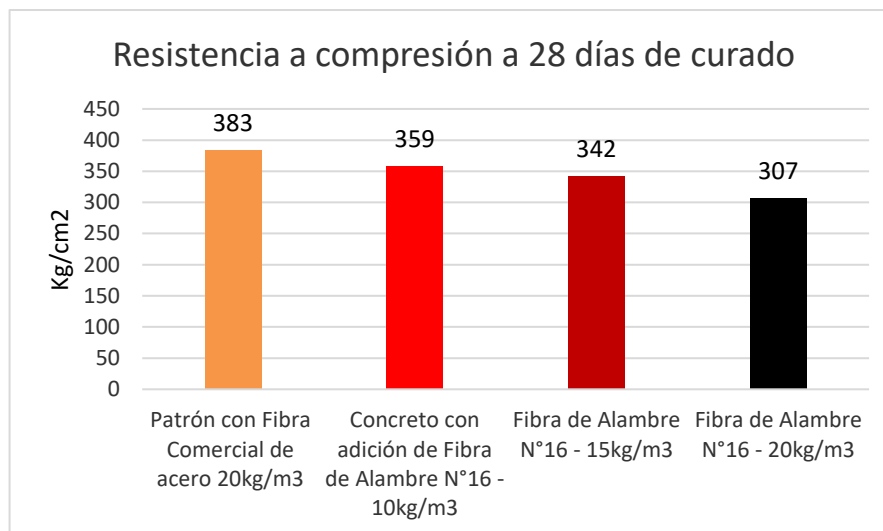


Fuente: *Elaboración Propia*

Se observa que la resistencia de la muestra con fibra comercial es de 278 Kg/cm² equivalente a 100%, por el cual se puede deducir que la muestra con fibras de alambre reciclado 10kg/m³ aumenta la resistencia a la compresión en un 21.22%, la fibra de alambre reciclado en 15kg/m³ mantiene la misma resistencia sin aumentar ni reducir, la fibra de alambre reciclado en 20 kg/m³ reduce la resistencia a la compresión en un 10.4%, teniendo que a mayor fibra de alambre menora la resistencia a compresión.

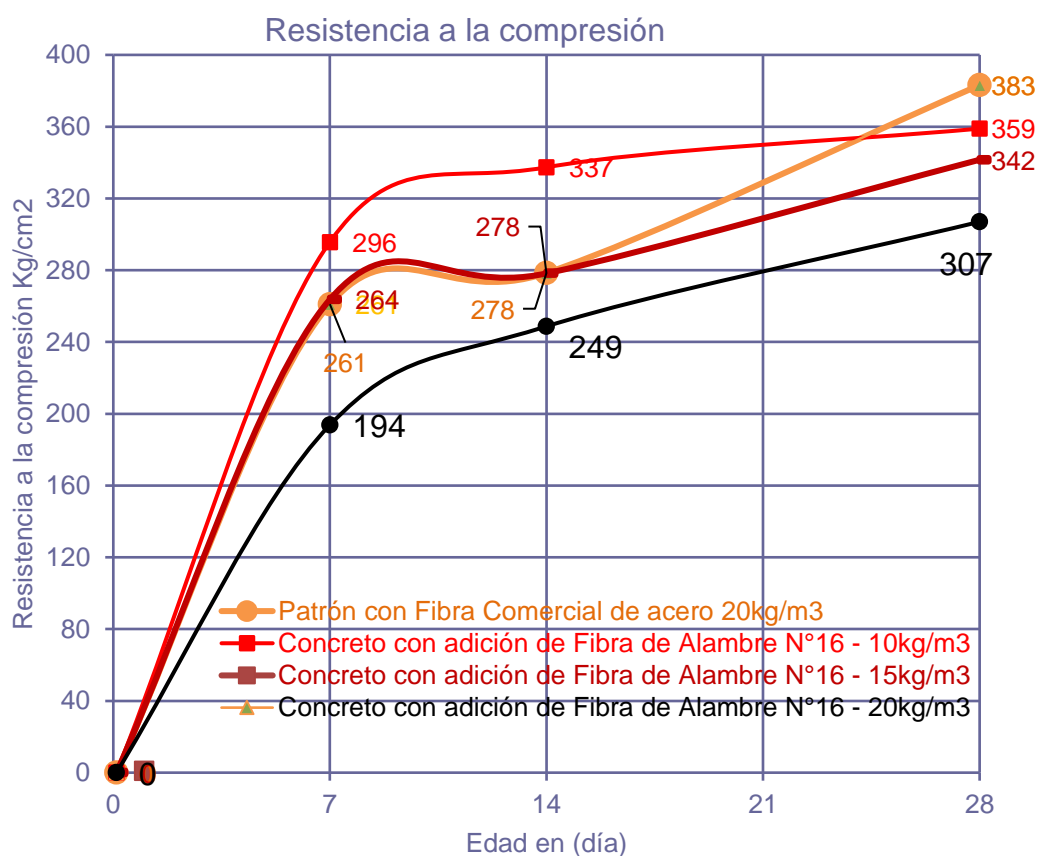
Resumen de resultados a los 28 días de edad

Gráfico 14. Ensayo de resistencia a compresión a los 28 días



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 15. Resumen de resistencia a compresión / día



Fuente: Elaboración Propia

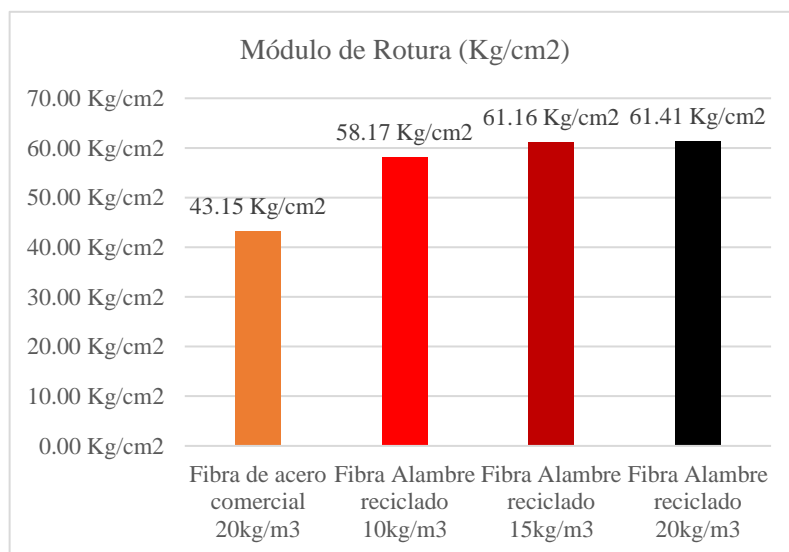
En la gráfica 14 y 15, observamos como la resistencia de la muestra con fibra comercial a los 28 días es de 383 Kg/cm², lo que representa el 100%. A partir de esto, se puede inferir que la inclusión de fibras de alambre reciclado en el concreto afecta la resistencia de la siguiente manera: una concentración de 10 kg/m³ de fibra de alambre reciclado reduce la resistencia en un 6.33%, una concentración de 15 kg/m³ reduce la resistencia en un 10.85%, y una concentración de 20 kg/m³ reduce la resistencia en un 19.88%. Por lo tanto, se concluye que un mayor contenido de fibra de alambre reciclado resulta en una menor resistencia a la compresión.

- **Resultados de flexión**

Tabla 45. Resultados - Ensayo de flexión en vigas

Muestra Nº	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Carga (N)	Antigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²) Promedio
1	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra de acero comercial	23/10/2023	20/11/2023	31459.7689	28	4.4	44.36	43.15
2	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra de acero comercial	23/10/2023	20/11/2023	29583.5702	28	4.3	43.34	
3	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra de acero comercial	23/10/2023	20/11/2023	26692.5845	28	4.1	41.75	
4	CONCRETO 280 kg/cm ² + 10kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	20/10/2023	17/11/2023	38825.3101	28	5.6	56.98	58.17
5	CONCRETO 280 kg/cm ² + 10kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	20/10/2023	17/11/2023	41075.9248	28	5.9	60.18	
6	CONCRETO 280 kg/cm ² + 10kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	20/10/2023	17/11/2023	37810.327	28	5.6	57.35	
7	CONCRETO 280 kg/cm ² + 15kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	03/04/2024	01/05/2024	43933.568	28	6.3	64.72	61.16
8	CONCRETO 280 kg/cm ² + 15kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	03/04/2024	01/05/2024	41187.72	28	6.0	60.90	
9	CONCRETO 280 kg/cm ² + 15kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	03/04/2024	01/05/2024	42560.644	28	5.7	57.87	
10	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	04/04/2024	02/05/2024	43247.106	28	6.4	65.02	61.41
11	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	00/01/1900	28/01/1900	40010.928	28	5.6	56.62	
12	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	00/01/1900	28/01/1900	41629.017	28	6.1	62.59	

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 16. Módulo de rotura - Ensayo de flexión en vigas

Fuente: *Elaboración Propia*

Analizando los datos del gráfico 5, se observa que la resistencia a la flexión de la muestra estándar con una adición de fibra comercial de 20 kg/m³ es de 43.15 kg/cm², lo que corresponde al 100%, mientras que para el concreto con la incorporación de alambre reciclado N°16 en dosificaciones de 10, 15 y 20 kg/m³, se obtienen valores de 58.17 kg/cm², 61.16 kg/cm² y 61.41 kg/cm², respectivamente. Por consiguiente, se nota un aumento en la resistencia a la flexión del 34.8%, 41.74% y 42.31% para las muestras con fibras de alambre reciclado de 10, 15 y 20 kg/m³, respectivamente, en comparación con el concreto estándar. Esto confirma la hipótesis inicialmente planteada, que sugiere que un mayor contenido de fibra de alambre conllevará a un aumento en la resistencia.

- **Resultados de la trabajabilidad (Slump)**

Tabla 46. Ensayos de Cono de Abrams

Muestras - Norma MTC E-705 Asentamiento Del Concreto	
Concreto 280 kg/cm²	
Fibra CHO 65/35 NB 20kg/m ³	4 pulg
Alambre N°16 10kg/m ³	4 pulg
Alambre N°16 15kg/m ³	3.5 pulg
Alambre N°16 20kg/m ³	3.5 pulg

Fuente: Elaboración Propia

El estudio sobre el asentamiento se llevó conforme a la normativa NTP 339.035 y MTC E – 705. Los resultados obtenidos revelan que a mayor cantidad de acero adicionado al concreto, el nivel de asentamiento disminuye.

Se observa que el concreto con una adición de 20 kg/m³ de fibra comercial de acero, así como el concreto con una adición de 10 kg/m³ de fibra de alambre reciclado N°16, presentan un asentamiento de 4 pulgadas. Por otro lado, se evidencia que el asentamiento se reduce a 3.5 pulgadas en el concreto que incorpora 15 y 20 kg/m³ de fibra de alambre reciclado.

- **Resultados de comparación económica**

Tabla 47. Cuadro comparativo del costo de la fibra comercial de acero y fibra de alambre reciclado N° 16

Comparación económica de fibra por saco de 20kg		
	SikaFiber® CHO 65/35 NB	Fibra de alambre reciclado N° 16
Mano de obra	S/. 0	S/60.
Transporte	S/24. 60	S/30.
Producto	S/257. 0	S/70.
Total (sin IGV)	S/281. 60	S/160.
Comparación económica de fibra por 1kg		
	SikaFiber® CHO 65/35 NB	Fibra de alambre reciclado N° 16
Mano de obra	S/. 0	S/3.
Transporte	S/1. 23	S/1. 5
Producto	S/12. 85	S/3. 5
Total (sin IGV)	S/14. 08	S/8.

Fuente: Elaboración Propia

Para la evaluación económica comparativa entre la fibra comercial Sikafiber 65/35NB y el alambre reciclado N°16, se tomaron en cuenta diversos aspectos como la mano de obra, el transporte, la extracción y el producto en sí mismo. Se encontró que el costo por kg de la fibra comercial es de S/. 14.08, mientras que para la fibra de alambre reciclado N°16 es de S/. 8. Además, considerando que la presentación estándar de la fibra comercial es en sacos de 20 kg, el costo total asciende a S/. 281.60, mientras que para la fibra de alambre reciclado N°16 el costo total es de S/. 160 por saco de 20 kg

Gráfico 18. Costo de fibra por kg

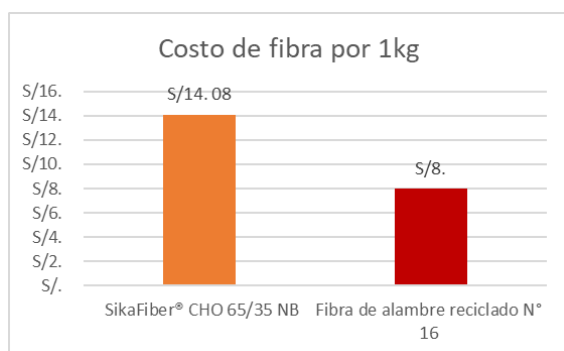
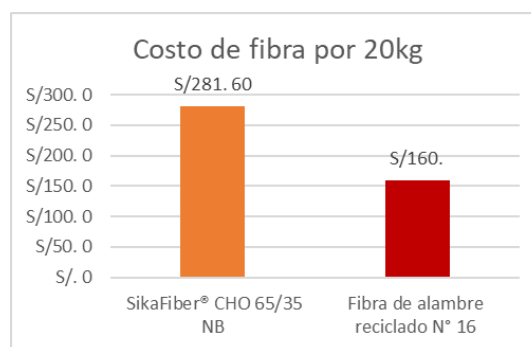


Gráfico 17. Costo de fibra por 20kg



Fuente: Elaboración Propia

El costo de la fibra de acero comercial equivale a un 100%, la fibra de alambre reciclado N°16 representa un 56.82%, evidenciando una reducción directa del 43.18% con respecto al costo de la fibra de acero, siendo una alternativa económica.

Análisis de precios unitarios

El análisis de los costos unitarios se llevó a cabo basándose tanto en mi experiencia personal, académica y profesional tanto como en la de los colaboradores que asistieron en esta investigación. Ello se determinó a partir de las compras realizadas durante el desarrollo del estudio. El precio de mano de obra se obtuvo de Capeco a la fecha de 2023. Para la cuadrilla encargada de la colocación del concreto reforzado con fibras, con una resistencia de 280 Kg/cm² para pavimentos, se consideró un equipo compuesto por 2 operarios, 2 oficiales y 3 peones, con un rendimiento estimado de 20 m³ diarios.

Tabla 48. APU - Concreto $f'c=280\text{kg/cm}^2 + 20\text{kg/m}^3$ de fibra de acero comercial

CONCRETO CON ADICION DE FIBRA DE ACERO COMERCIAL 20kg/m3 $f'c=280\text{kg/cm}^2$, e=15cm						
m3/DIA	20.0000	EQ.	20.0000	Costo unitario directo por : m3	854.16	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	2.0000	0.8000	26.1900	20.95	
OFICIAL	hh	2.0000	0.8000	20.6000	16.48	
PEON	hh	3.0000	1.2000	18.6300	22.36	
					59.79	
Materiales						
PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.76	70.00	53.06	
ARENA GRUESA	m3		0.72	50.00	35.82	
0213010007 CEMENTO PORTLAND TIPO I	bls		13.9	30.00	416.92	
CHO 65/35 NB	bls		1	282	281.60	
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1600	18.59	2.97	
AGUA	m3		0.2971	4.00	1.19	
					791.56	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	18.07	0.90	
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11p3	hm	1.0000	0.0500	25.42	1.27	
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1.0000	0.0500	12.71	0.64	
					2.81	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 49. APU - Concreto $f_c=280\text{kg/cm}^2 + 10\text{kg/m}^3$ de fibra de alambre reciclado N°16 - 10kg/m^3

CONCRETO CON ADICIÓN FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO 10kg/m ³ $f_c=280\text{kg/cm}^2$, $e=15\text{cm}$						
m ³ /DIA	20.0000	EQ.	20.0000	Costo unitario directo por : m ³		652.56
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	2.0000	0.8000	26.1900	20.95	
OFICIAL	hh	2.0000	0.8000	20.6000	16.48	
PEON	hh	3.0000	1.2000	18.6300	22.36	
						59.79
Materiales						
PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m ³		0.76	70.00	53.06	
ARENA GRUESA	m ³		0.72	50.00	35.82	
0213010007 CEMENTO PORTLAND TIPO I	bls		13.9	30.00	416.92	
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO 10 KG/M³	bls		1	80	80.00	
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1600	18.59	2.97	
AGUA	m ³		0.2971	4.00	1.19	
						589.96
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	18.07	0.90	
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11p ³	hm	1.0000	0.0500	25.42	1.27	
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1.0000	0.0500	12.71	0.64	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 50. APU - Concreto $f'_c=280\text{kg/cm}^2 + 15\text{kg/m}^3$ de fibra de alambre reciclado N°16 - 15kg/m^3

CONCRETO CON ADICIÓN FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO 15kg/m ³ $f'_c=280\text{kg/cm}^2$, $e=15\text{cm}$						
m ³ /DIA	20.0000	EQ.	20.0000	Costo unitario directo por : m ³		708.78
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	2.0000	0.8000	26.1900	20.95	
OFICIAL	hh	2.0000	0.8000	20.6000	16.48	
PEON	hh	3.0000	1.2000	18.6300	22.36	
						59.79
Materiales						
PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m ³		0.76	70.00	53.06	
ARENA GRUESA	m ³		0.72	50.00	35.82	
0213010007 CEMENTO PORTLAND TIPO I	bls		13.90	30.00	416.92	
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO 15 KG/M³	bls		1	120	120.00	
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1600	120.00	19.20	
AGUA	m ³		0.2971	4.00	1.19	
						646.18
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	18.07	0.90	
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11p ³	hm	1.0000	0.0500	25.42	1.27	
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1.0000	0.0500	12.71	0.64	
						2.81

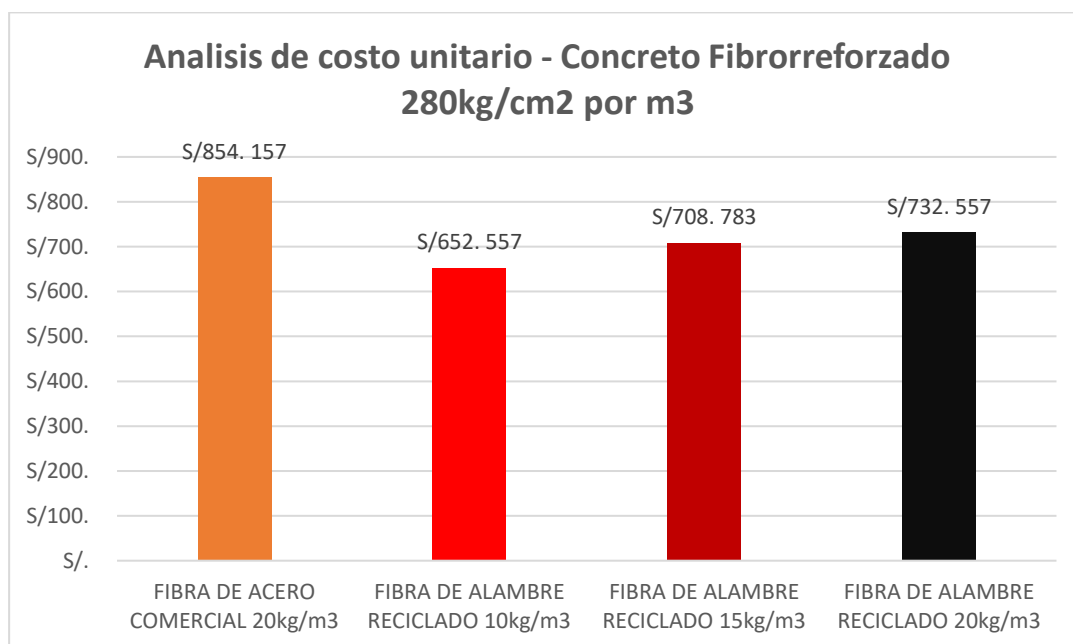
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 51. APU - Concreto $f'_c=280\text{kg/cm}^2$ + 20kg/m^3 de fibra de alambre reciclado N°16 - 20kg/m

CONCRETO FIBRORREFORZADO 20kg de ALAMBRE RECICLADO $f'_c=280\text{kg/cm}^2$, $e=15\text{cm}$						
m3/DIA	20.0000	EQ.	20.0000	Costo unitario directo por : m3	732.56	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	2.0000	0.8000	26.1900	20.95	
OFICIAL	hh	2.0000	0.8000	20.6000	16.48	
PEON	hh	3.0000	1.2000	18.6300	22.36	
					59.79	
Materiales						
PIEDRA CHANCADA DE 1/2"	m3		0.76	70.00	53.06	
ARENA GRUESA	m3		0.72	50.00	35.82	
0213010007 CEMENTO PORTLAND TIPO I	bls		13.90	30.00	416.92	
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO 20 KG/M ³	bls		1	160	160.00	
GASOLINA 84 OCTANOS	gal		0.1600	18.59	2.97	
AGUA	m3		0.2971	4.00	1.19	
					669.96	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5.0000	18.07	0.90	
MEZCLADORA DE CONCRETO DE 9 -11p3	hm	1.0000	0.0500	25.42	1.27	
VIBRADOR DE CONCRETO 4 HP 2.40"	hm	1.0000	0.0500	12.71	0.64	
					2.81	

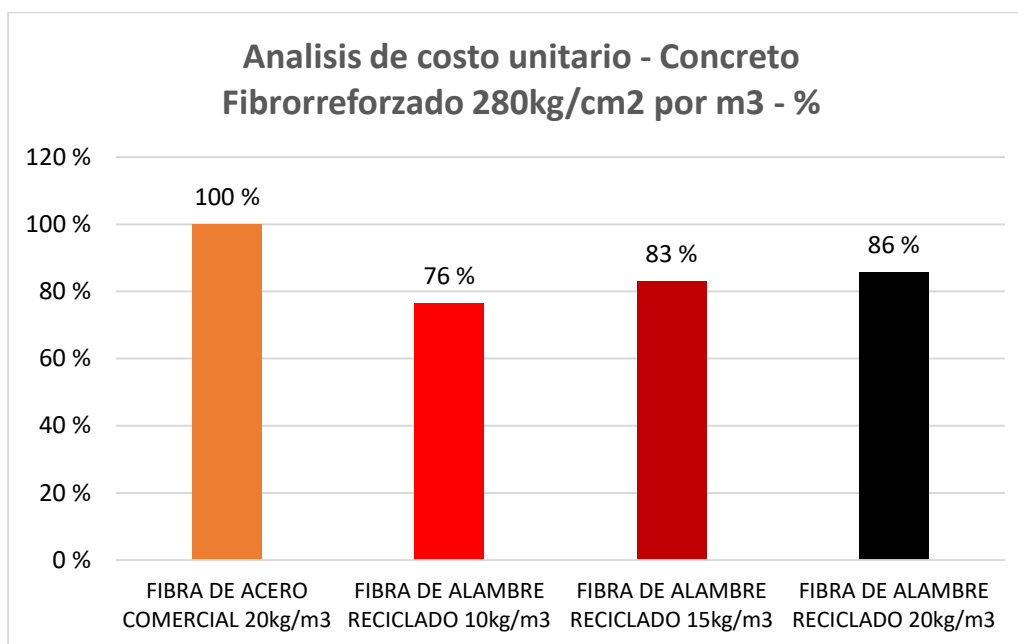
Fuente: *Elaboración Propia*

Gráfico 19. Resumen de Análisis de precios unitarios.



Fuente: *Elaboración Propia*

Se determinó que el costo unitario por m³ de la muestra estándar con fibra comercial de 20 kg/m³ es de S/. 854.157, lo que representa el 100% de referencia. Por otro lado, el costo del concreto con fibra de alambre reciclado es de S/652. 557 para una dosificación de 10 kg/m³, de S/708. 783 para 15 kg/m³ y de S/732. 557 para 20 kg/m³.

Gráfico 20. Análisis de costos unitarios en %

***Fuente:** Elaboración Propia*

Se evidencia una disminución del 24% en el costo/m³ de concreto al emplear fibra de alambre reciclado a una dosificación de 10 kg/m³ en comparación con el concreto con adición de fibra de acero comercial CHO 65/35. Asimismo, se registra una reducción del 17% utilizando fibra de alambre reciclado a 15 kg/m³ en comparación con el concreto que incorpora fibra de acero comercial, y del 14% al emplear fibra de alambre reciclado a 20 kg/m³ en comparación con el concreto con fibra comercial.

Discusiones

- Según el objetivo de "Determinar la dosificación óptima de fibra para controlar las fisuras por retracción plástica empleando alambre N° 16 reciclado" y "Elaborar losas de concreto fibrorreforzadas con alambre reciclado N° 16 adicionando dosificaciones de 10, 15 y 20kg/m³ vs concreto patrón con fibra comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB para evaluar las fisuras por retracción plástica en pavimento rígido", los resultados presentados en la tabla 30 resumen la longitud, ancho y área de fisuras para las diferentes dosificaciones de concreto con fibra de alambre reciclado N° 16 y el concreto patrón con fibra de acero comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB. Se observó que el concreto adicionado con 20 kg/m³ de alambre reciclado N° 16 presenta un mejor desempeño en el control de fisuras por retracción plástica, reduciendo este fenómeno en un 58.7% en comparación con el concreto de referencia en 20 kg/m³ de fibra comercial de acero. Este concreto exhibe una menor longitud, ancho y área promedio de fisuras en comparación con las otras muestras. Este concreto modificado presenta un área promedio de fisuras de 58.9 mm², mientras que el concreto patrón con fibra de acero comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB registra 241 mm².

Tabla 52. Resumen de resultados - Evaluación de fisuras

Nro.	Losa	N° de fisuras	Longitud promedio de fisuras (mm)	Ancho promedio de Fisuras (mm)	Área total de fisuras (mm ²)	Área promedio de fisuras (mm ²)	CKK - Coeficiente de relación de reducción de fisuras	CKK - Relación de reducción de fisuras %
1	Concreto Fibra de acero Comercial 20kg/m ³	20	336.00	0.57	4822.00	241	-	-
2	Concreto + 10kg/m ³ Alambre reciclado	23	309.13	0.68	5601.50	243.5	-0.20	-19.7%
3	Concreto + 15kg/m ³ Alambre reciclado	8	222.50	0.28	511.00	63.9	0.50	50.2%
4	Concreto + 20kg/m ³ Alambre reciclado	6	220.00	0.23	353.50	58.9	0.59	58.7%

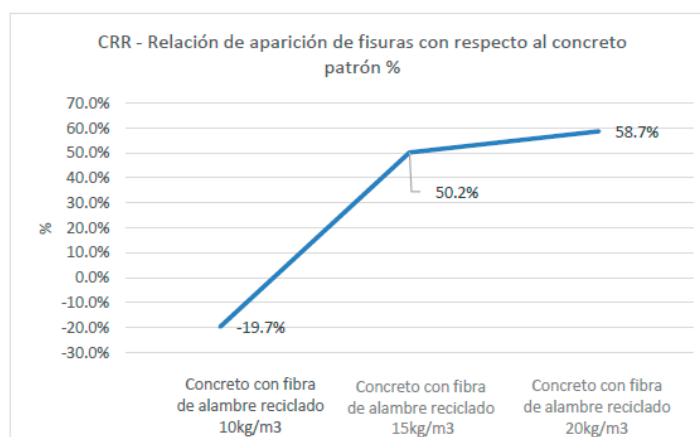
Fuente: Elaboración Propia

Al comparar estos resultados con los obtenidos por Capia Machaca y Yeyson Alex en el estudio "Control de fisuras de retracción plástica en pavimentos rígidos empleando acero reciclado de neumáticos, Juliaca, Puno 2021", el área de fisuras de retracción plástica varía entre 1299.33 mm², 0 mm² y 0 mm² para adiciones de acero reciclado de neumáticos de 10 kg/m³, 20 kg/m³ y 30 kg/m³ respectivamente, según se detalla en la tabla 44 y la figura 51. Estos resultados indican que la dosificación óptima para controlar las fisuras por retracción plástica utilizando acero reciclado de

neumáticos es de 20 kg/m³ de concreto. Estas conclusiones no contradicen, sino que complementan los hallazgos, mostrando que la dosificación óptima para el uso de fibra de acero reciclado con el fin de controlar las fisuras por retracción plástica es de 20 kg/m³ de concreto. Esto coincide con la recomendación de la ficha técnica de SikaFiber® CHO 65/35 NB, fibra de acero, que establece que la dosificación recomendada normalmente oscila entre 15 y 50 kg de Sika® Fiber CHO 65/35 NB por metro cúbico de concreto, y sugiere hacer pruebas para conocer la dosis exacta y necesaria de fibra de acero a emplear.

- Otro objetivo de esta investigación es establecer la relación de reducción de fisuras (CRR) por retracción plástica en pavimento rígido 280kg/cm² mediante la incorporación de fibras de alambre reciclado N° 16. El gráfico 3 presenta un resumen de esta relación en comparación con el concreto patrón que contiene fibra de acero comercial. Se observa que el concreto con la adición de fibra de alambre reciclado en cantidades de 15 y 20 kg/m³ muestra un CRR del 50.2% y 58.7% respectivamente, lo que indica resultados positivos. En contraste, la dosificación de 10 kg/m³ de alambre reciclado N°16 presenta un CRR negativo de -19.7%, indicando una falta de reducción de fisuras en comparación con el concreto patrón con fibra de acero comercial, lo que implica una mayor incidencia de fisuras. Comparando estos resultados con el estudio realizado por Cacoango Cando, Guido Salomón, Millingalli Vega, María Sandra en 2019, sobre la eficiencia del control de fisuramiento por contracción plástica del hormigón utilizando fibra de acero 4D, se observan valores de CRR del 46%, 64% y 76% para dosificaciones de 15, 20 y 30 kg/m³ de fibra de acero 4D respectivamente, para una resistencia de 260 kg/m³.

Ilustración 45. CRR - Evaluación de fisuras



Fuente: Elaboración Propia

Estos resultados no contradicen, sino que refuerzan la eficacia del uso de fibra de acero en la reducción de fisuras en el concreto. Es importante destacar que en nuestra investigación se utilizó como concreto patrón uno con adición de fibra de acero comercial en 20 kg/m³, por lo que todos los valores de CRR obtenidos muestran una significativa reducción de fisuras en comparación con este estándar comercial. Por lo tanto, nuestros resultados son altamente favorables, ya que se comparan con un concreto con adición de fibra ya establecido en el mercado, mientras que el CRR en el estudio mencionado anteriormente se refiere a un concreto sin adición de fibra. Es importante señalar que ni la normativa ni otras fuentes de investigación establecen un valor mínimo de CRR para determinar si se ha controlado eficazmente la formación de fisuras o si estas afectan la integridad estructural o la apariencia del concreto.

- Otro objetivo de este estudio es caracterizar las propiedades de las fibras de alambre reciclado N° 16 con el fin de evaluar su eficacia en el control de las fisuras por retracción plástica en pavimentos rígidos con una resistencia de 280 kg/cm². Se determinó que estas fibras presentan características físicas, mecánicas y químicas específicas. Físicamente, son rectas, de 5 cm, un diámetro de 1.5 mm, una relación longitud/diámetro de 33 y un peso de 1.09 gramos. En cuanto a sus propiedades mecánicas, se ha registrado una resistencia a la tracción de 1244.15 MPa, una elongación a la rotura del 7.60%, un módulo de elasticidad de 657 MPa y una tasa de oxidación del 4.38%.

Tabla 53. Caracterización de fibra de alambre reciclado

Fibra de alambre reciclado Nro. 16	
Propiedades Físicas	
Longitud de fibra	50 mm
Diámetro de fibra	1.5 mm
Relación Longitud/Diámetro	33
Peso de fibra	1.09 gr
Propiedades Mecánicas	
Resistencia a la tracción	1244.15 MPa
Elongación a la rotura	7.60%
Módulo de elasticidad	657 MPa
Oxidación	4.38%

Fuente: Elaboración Propia

Estas características cumplen con los estándares establecidos por la normativa ASTM 820 para fibras de acero en concreto reforzado con fibra, clasificándolas como fibras de acero tipo I "alambre estirado en frío". Es importante destacar que la resistencia a la tracción de estas fibras supera el requisito mínimo de 310 MPa establecido por la normativa, y que la presencia de óxido u otros recubrimientos no constituye motivo de rechazo, siempre y cuando estos se separen durante el proceso de mezclado del concreto, según lo indicado en la norma. Además, de acuerdo con las recomendaciones de ACI 544.1R, en concretos con resistencia a la compresión superior a 21 MPa a los 28 días, la corrosión de las fibras se limitará a la superficie del concreto hasta una profundidad de 2.5 mm, sin riesgo de propagación, incluso en condiciones de alta saturación de iones de cloruro.

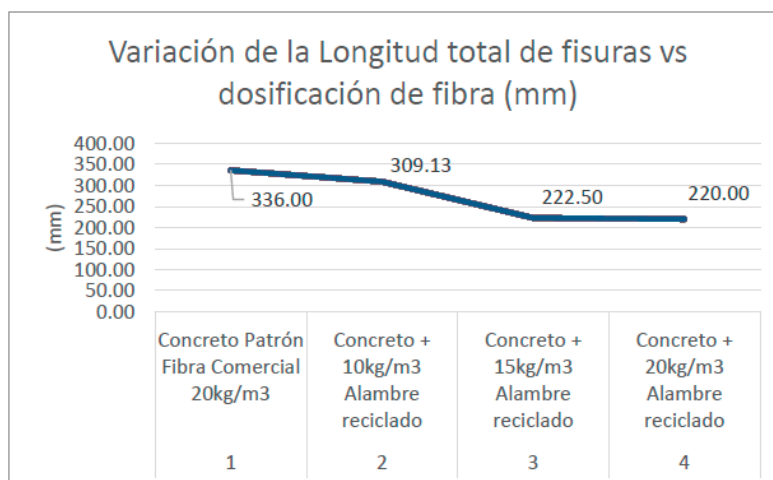
El artículo [8] menciona que una relación de aspecto alta dificultará la compactación del hormigón siendo que la relación de aspecto de fibra de acero reciclada puede alcanzar 133 y la relación de aspecto más alta de fibras de acero industriales es 69. Por otro lado Sudhikumar et al. [44] señalaron que las relaciones de aspecto más bajas de la fibra producen una mayor resistencia a la compresión, flexión, índices de tenacidad y resistencia al impacto.

En comparación con la ficha técnica de la fibra de acero comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB, que describe es de forma deformada, longitud de 3.5cm, 0.54mm de diámetro, relación longitud/diámetro de 65, resistencia a la tracción de 1300 MPa, elongación de rotura de 4% máx. Observándose propiedades similares, siendo la diferencia más notable sus dimensiones físicas. Mientras que la fibra de alambre reciclado N° 16 es significativamente más larga y gruesa, con una longitud 142.9% mayor y un diámetro 277.8% mayor en comparación con la fibra de acero comercial.

- Otro objetivo de este estudio consiste en calcular la variación en la longitud de las fisuras debido a la retracción plástica en pavimentos rígidos mediante la adición de fibras de alambre reciclado N° 16. Al analizar los datos presentados en el gráfico 4, se evidencia que la longitud promedio de las fisuras en la muestra de referencia, que incorpora fibra de acero comercial, es de 336 mm, representando el 100%. En contraste, las muestras de concreto con adiciones de fibra de alambre reciclado a 10, 15 y 20 kg/m³ exhiben longitudes promedio de fisuras de 309.13 mm, 222.50 mm y 220 mm, respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que las muestras con adiciones de fibras de alambre reciclado a 10 kg/m³, 15 kg/m³ y 20 kg/m³ reducen la longitud promedio de las fisuras

en un 8%, 33.8% y 34.5%, respectivamente, en comparación con el concreto de referencia reforzado con fibra de acero comercial.

Ilustración 46. Longitud promedio de fisuras



Fuente: Elaboración Propia

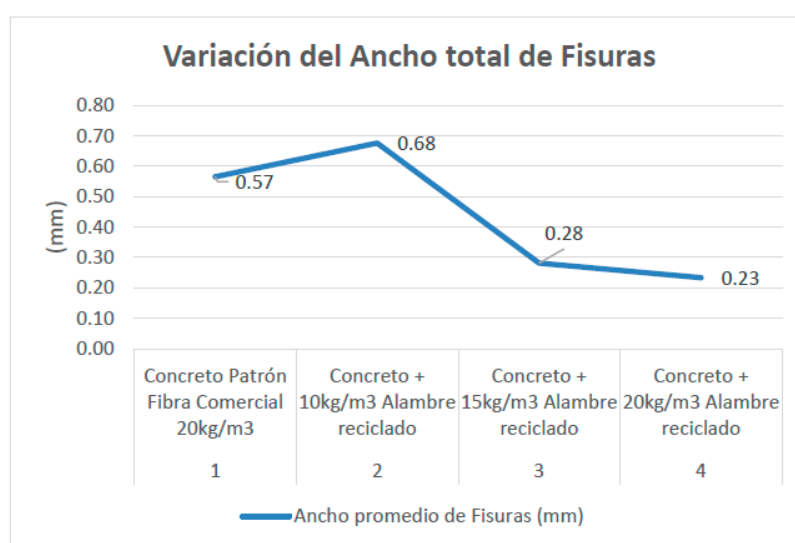
Al comparar estos resultados con el estudio [45], donde se evalúan las fisuras por retracción plástica en pavimentos de concreto de 210 kg/cm² utilizando fibras de polipropileno, se observa que el Concreto Patrón CP sin refuerzo de fibra presentó una longitud promedio de 9 fisuras de 36.66 mm, el Concreto Fibrorreforzado con 0.3 kg/m³ de fibras de polipropileno mostró 17.25 mm, y no hubo fisuración para los concretos Fibrorreforzados con 0.6 kg/m³ y 1.2kg/m³.

Es importante destacar que las propiedades de las fibras de polipropileno difieren de las del acero, y la evaluación de fisuras mencionada anteriormente se realizó con una temperatura ambiente del concreto de 17.50°C, mientras que en nuestra investigación fue de 30°C. Sin embargo, en ambos estudios se demuestra la dosificación óptima para reducir las fisuras por retracción plástica. Para el concreto de 280 kg/cm² reforzado con fibras de alambre reciclado N°16, esta dosificación óptima es de 20 kg/m³, mientras que para un concreto de 210 kg/cm², basta con 0.6 kg/m³ de fibras de polipropileno.

En la actualidad, la NTP 339.204 - Especificación normalizada del concreto reforzado con fibra es la normativa peruana que clasifica como Tipo I al concreto reforzado con fibras de acero, y estas fibras deben cumplir con la ASTM A820; y como Tipo III al reforzado con fibras sintéticas, tales como el polipropileno.

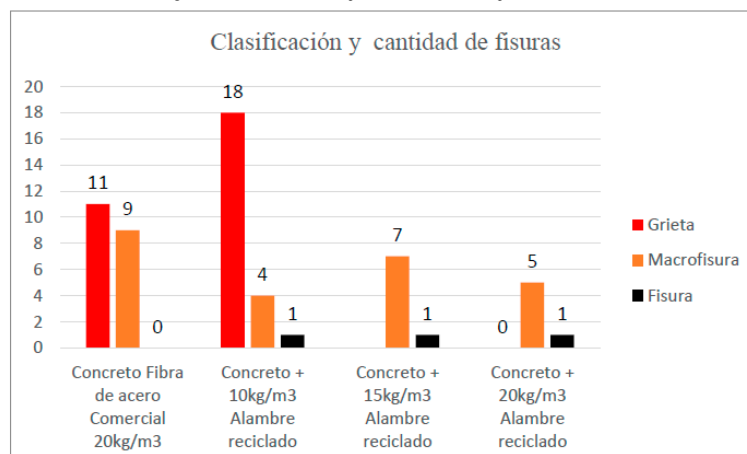
- De acuerdo con el propósito de "Determinar la variación del ancho de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N° 16", al examinar los datos presentados en el gráfico 5, se constata que el ancho medio de las fisuras en la muestra de referencia, que contiene fibra de acero comercial, es de 0.57 mm, representando el 100%. En contraste, las muestras de concreto con adición de fibra de alambre reciclado N° 16 a una proporción de 10 kg/m³ manifestaron un incremento en el ancho medio de fisura del 19.3%, mientras que para las muestras con adición de 15 y 20 kg/m³ se observó una disminución del ancho medio de fisuras del 50.9% y 59.7%, respectivamente.

Ilustración 47. Ancho de fisuras



Fuente: *Elaboración Propia*

En cuanto a la clasificación de fisuras, en el concreto estándar se identificaron 11 grietas y 9 macrofisuras, mientras que en el concreto con adición de alambre reciclado a una dosificación de 10 kg/m³ se generaron 18 grietas, 4 macrofisuras y 1 fisura. En los casos de adición de 15 y 20 kg/m³, no se detectaron grietas, solo 7 y 5 macrofisuras, respectivamente, además de 1 fisura en cada tramo de prueba, lo que representa una eliminación del 100% de la aparición de grietas para los concretos con adiciones de 15 y 20 kg/m³.

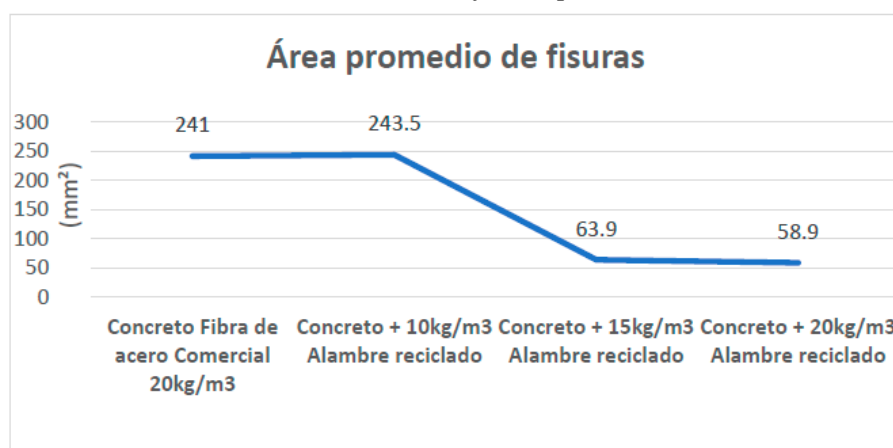
Gráfico 21. Clasificación de fisuras

Fuente: *Elaboración Propia*

Comparando estos hallazgos con el estudio [46], donde se adiciona acero reciclado de neumáticos como fibra para reforzar el concreto, evidencia un ancho promedio de 0.35 mm, 0 mm y 0 mm para 10 kg/m³, 20 kg/m³ y 30 kg/m³ respectivamente, es decir con 20 y 30 kg/m³ no existió fisuras ni anchos que medir. Ambos estudios coinciden en que la dosificación estimada es a partir de 20 kg/m³ de fibra de acero reciclado para poder controlar la aparición de fisuras por retracción plástica. Cabe señalar que el estudio mencionado se llevó a cabo para un concreto con una resistencia de 210 kg/cm², una temperatura de concreto promedio de 20°C, mientras que el nuestro se realizó para una resistencia de 280 kg/cm² y una temperatura de concreto promedio de 30°C. Estos datos están en línea con las dosis recomendadas según las fichas técnicas de fibra de acero comercial, que indican una dosis que varía de 15 a 50 kg/m³ para reducir las fisuras por retracción plástica.

- De acuerdo con el propósito de cuantificar la variación del área de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16. Al analizar los datos presentados en el gráfico 6, se observa que el área promedio de las fisuras en la muestra de referencia, que contiene fibra de acero comercial, es de 241mm², representando el 100%. Por otro lado, las muestras de concreto con adiciones de fibra de alambre reciclado a 10, 15 y 20 kg/m³ muestran un área promedio de fisuras de 243.5 mm, 63.9 mm y 58.9 mm respectivamente. Evidenciando una reducción del área de fisuras en 73.5% y 75.6% para la adición de alambre reciclado a 15 kg/m³ y 20 kg/m³ con respecto al concreto con adición de fibra de acero comercial. Mientras que el concreto con adición de alambre reciclado en 10 kg/m³ presenta ligeramente un área mayor de fisuras en %1.03 respecto al concreto patrón.

Ilustración 48. Área de fisura promedio.



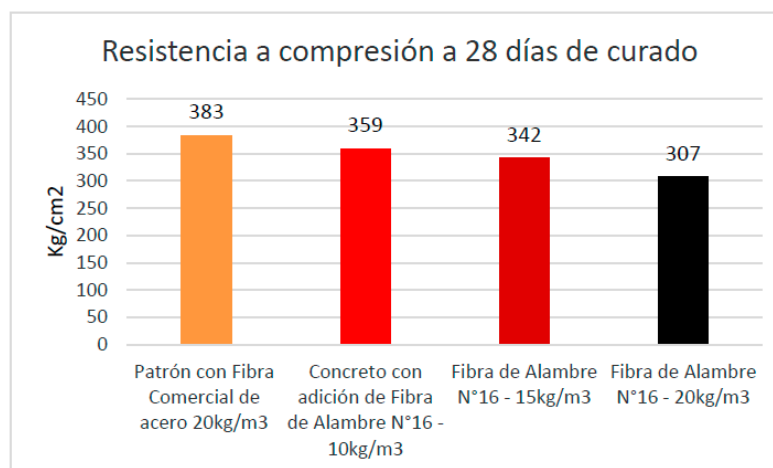
Fuente: Elaboración Propia

Comparando estos hallazgos con el estudio [46], que examina las fisuras en pavimentos rígidos de 210 kg/cm² utilizando acero reciclado de neumáticos, se observa que el área media de fisuras por retracción plástica con la adición de acero reciclado varía de 1299.33 mm², 0 mm² y 0 mm² para adiciones de acero reciclado de neumáticos de 10 kg/m³, 20 kg/m³ y 30 kg/m³, respectivamente. Se deduce que la dosificación para minimizar el área de fisuras por retracción plástica es de 20 kg/m³, lo cual coincide con los resultados de la presente investigación. Cabe señalar que el estudio mencionado se llevó a cabo para un concreto con una resistencia de 210 kg/cm², una temperatura de concreto promedio de 20°C, mientras que el nuestro se realizó para una resistencia de 280 kg/cm² y una temperatura de concreto promedio de 30°C. Estos datos

están en línea con las dosis recomendadas según las fichas técnicas de fibra de acero comercial, que indican una dosis de 15 a 50 kg/m³ para reducir las fisuras por retracción plástica.

- Los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a la compresión, realizados mediante roturas a los 7, 14 y 28 días, revelan que la resistencia del concreto convencional, al cual se le ha incorporado fibra de acero comercial, a los 28 días de edad, alcanza los 383 kg/cm², representando el 100%. En consecuencia, las muestras que contienen adiciones de fibras de alambre reciclado en proporciones de 10 kg/m³, 15 kg/m³ y 20 kg/m³, experimentan una disminución en la resistencia a la compresión en 6.33%, 10.85% y 19.88%, respectivamente. Esto indica que, al aumentar la cantidad de fibra de alambre reciclado añadida, la resistencia a la compresión se reduce.

Gráfico 22. Resistencia a compresión.



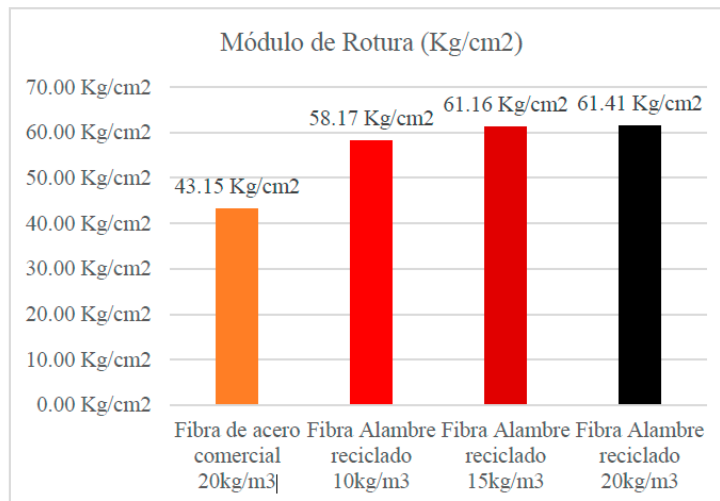
Fuente: Elaboración Propia

En contraste, a los resultados con el estudio [15], donde se evalúa la incorporación de fibras de alambre reciclado N° 16 de 5 cm de longitud en el pavimento de concreto con resistencia nominal $f^c = 300$ kg/cm², se observa que a los 28 días de curado, se obtienen resistencias de 359, 453 y 479 kg/cm², representando un incremento del 120%, 151% y 160%, respectivamente, para muestras de concreto con la adición de fibras de alambre reciclado en cantidades de 15, 20 y 25 kg/m³, evidenciando un aumento en la resistencia a la compresión. De acuerdo con la Norma Técnica C0.10 Pavimentos Urbanos, se especifica como obligatoria la realización de la NTP 339.034 para evaluar la resistencia a la compresión del concreto en muestras

cilíndricas, con una muestra por cada 450 m² o no menos de una por día, y se deberá tomar el promedio de dos probetas cilíndricas; para este estudio se ha considerado el promedio de tres por cada rotura.

- Los resultados derivados de los ensayos de resistencia a la flexión en vigas, representados en el gráfico 5, revelan un módulo de rotura de 43.15 kg/cm² para la muestra estándar, con fibra de acero comercial en 20 kg/m³, equivalente al 100%. En contraste, para el concreto adicionado con fibra de alambre reciclado N°16 en dosis de 10, 15 y 20 kg/m³, se registran valores de resistencia a la flexión de 58.17 kg/cm², 61.16 kg/cm² y 61.41 kg/cm², respectivamente. Esto indica un incremento en la resistencia a la flexión del 34.8%, 41.74% y 42.31% para las muestras con fibras de alambre reciclado de 10, 15 y 20 kg/m³, respectivamente, en comparación con el concreto estándar. Estos resultados corroboran la premisa inicialmente establecida, que sugiere una relación directa entre el contenido de fibra de alambre y el incremento en la resistencia a la flexión. No obstante, se observa que para las dosis de 15 y 20 kg/m³ de alambre reciclado N°16, el aumento es relativamente modesto, del 0.57%.

Gráfico 23. Resistencia a flexión



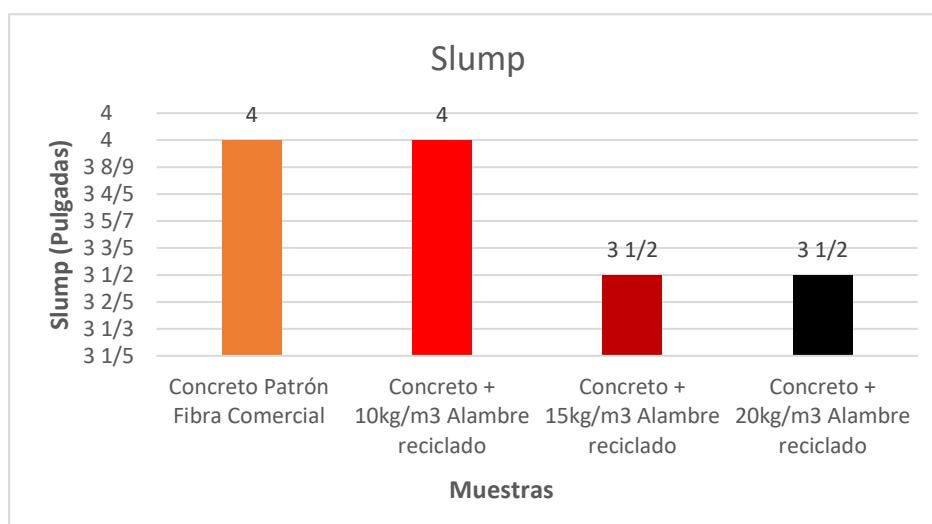
Fuente: *Elaboración Propia*

Al contrastar estos hallazgos con el estudio referenciado como [47], el cual examina las propiedades mecánicas de concreto reforzado con fibra de acero CHO 80/60 con dosis de 20, 25 y 30 kg/m³, se evidencia un aumento en la resistencia a la flexión de hasta un 18%, 22% y 28%, respectivamente, con módulos de rotura de 43.66 kg/cm², 45.02 kg/cm² y 47.10 kg/cm². Estos ensayos se llevaron a cabo siguiendo las pautas establecidas por las normativas CE. 010 pavimentos urbanos y NTP 339. 078, las cuales

estipulan que la resistencia a la flexión no debe ser inferior a la resistencia de diseño. A partir de este análisis, se observa un mejor desempeño con el uso de fibras de alambre reciclado N°16, incluso con dosis menores por metro cúbico de concreto.

- De los resultados obtenidos el estudio sobre el asentamiento y trabajabilidad revela esta aumenta al aumentar la cantidad de acero en el concreto, el nivel de asentamiento disminuye. Se observa que el concreto con una adición de 20 kg/m³ de fibra comercial de acero, así como el concreto con una adición de 10 kg/m³ de fibra de alambre reciclado N°16, presentan un asentamiento de 4 pulgadas. Por otro lado, se evidencia que el asentamiento se reduce a 3.5 pulgadas en el concreto que incorpora 15 y 20 kg/m³ de fibra de alambre reciclado. El propósito de esta investigación ha sido evaluar la aplicabilidad en pavimentos rígidos, conforme a lo estipulado en la norma MTC E-705, la cual establece que el asentamiento del concreto debe encontrarse en el rango de 3 a 4 pulgadas. En el transcurso de este estudio, se ha demostrado que la incorporación de acero en la mezcla de concreto resulta en un asentamiento de aproximadamente 3 a 4 pulgadas. Este valor se considera aceptable y conforme a los criterios establecidos por la mencionada norma.

Gráfico 24. Ensayo de trabajabilidad



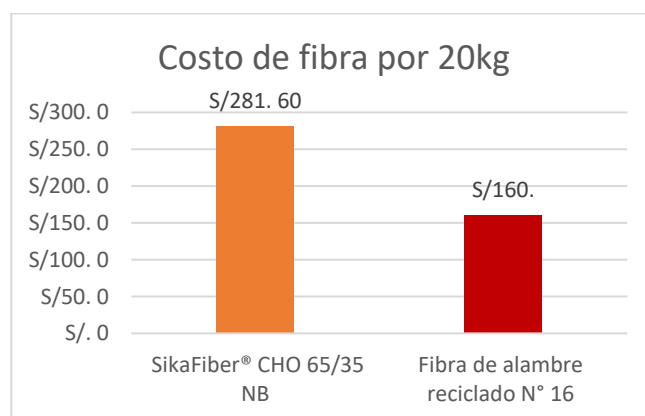
Fuente: Elaboración Propia

Según el artículo [8] En todas las mezclas se ha observado que la inclusión de fibras de acero recicladas (RSF) y fibras de acero industriales (ISF) ha provocado una disminución de la trabajabilidad. En el estudio realizado por Leone et al. [48], se observó un aumento en la cantidad de superplastificante necesaria para mantener

constante el nivel de asentamiento entre tres tipos de concreto: el concreto simple, el concreto reforzado con fibras de acero (RSF) y el concreto reforzado con fibras de polipropileno (ISF). Para el concreto simple, la dosis de superplastificante es de 1,4 kg/m³, mientras que para el concreto con RSF es de 1,19 kg/m³ y para el concreto con ISF es de 2,07 kg/m³. Se destaca que en comparación con el concreto RSF, se requiere una mayor cantidad de superplastificante en el concreto ISF, con el propósito de mantener el mismo nivel de asentamiento. Este incremento en la dosis del aditivo indica que la inclusión de fibras reduce la trabajabilidad del concreto.

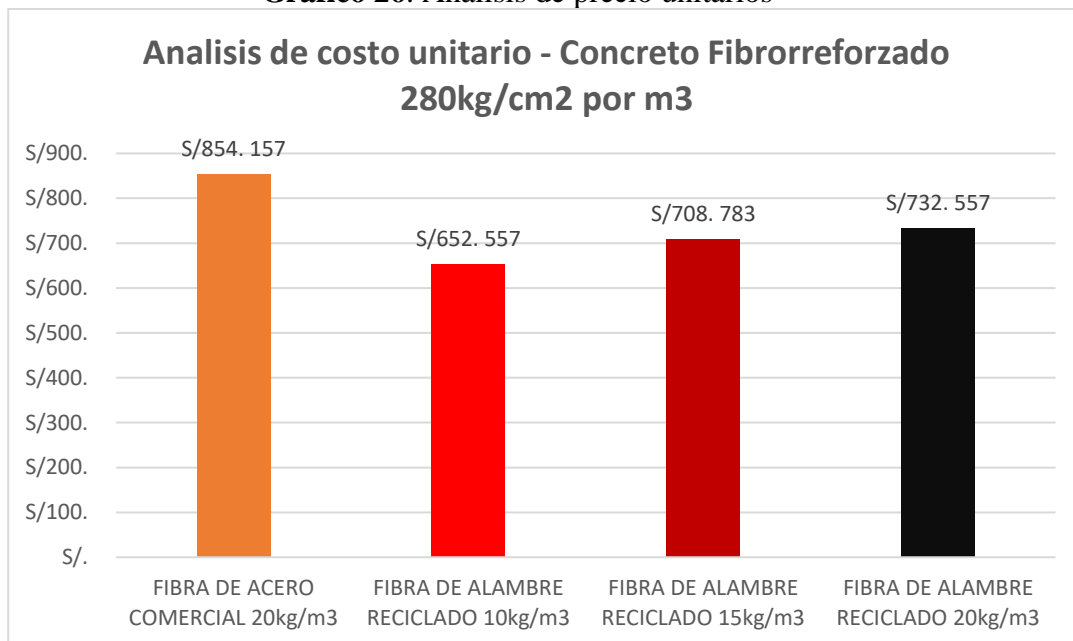
- Para llevar a cabo una comparación económica entre la fibra comercial de acero CHO 65/35NB y el alambre reciclado N°16, se ha determinado que el costo por kilogramo de la fibra comercial es de S/. 14.08, mientras que para el alambre reciclado N°16 es de S/. 8. Además, considerando que la presentación estándar de la fibra comercial es en sacos de 20 kg, el costo total asciende a S/. 281.60, lo que constituye el 100% de referencia. Por otro lado, el costo total para el alambre reciclado N°16 es de S/. 160 por 20 kg de fibra. Esta diferencia refleja una reducción directa del 43.18% en el costo al optar por el alambre reciclado N°16 en lugar de la fibra comercial.

Gráfico 25. Costo de fibra



Fuente: Elaboración Propia

El costo unitario por metro cúbico de concreto de la muestra estándar, que incorpora fibra comercial en una proporción de 20 kg/m³, asciende a S/. 854.16, lo que constituye el 100% de referencia. Por otro lado, el costo del concreto con fibra de alambre reciclado es de S/652. 557, S/708. 783 y S/732. 557 para dosificaciones de 10, 15 y 20 kg/m³, respectivamente. Esto evidencia una reducción del 24%, 17% y 14% en el costo por m³ de concreto al utilizar fibra de alambre reciclado en dosificaciones de 10 kg/m³, 15 kg/m³ y 20 kg/m³ en comparación con el concreto con fibra comercial de acero.

Gráfico 26. Análisis de precio unitarios

***Fuente:** Elaboración Propia*

Al comparar estos hallazgos con los resultados del estudio mencionado como [47], se evidencia que, para alcanzar una resistencia de 280 kg/cm², con la inclusión de fibra de Polipropileno PE en dosificaciones de 0.4, 0.5 y 0.6 kg/m³, el costo aumenta en un 9%, 10% y 11%, respectivamente. Por otro lado, al considerar la adición de fibra de acero CHO 80/60 en dosificaciones de 20, 25 y 30 kg/m³, el incremento es de hasta un 74%, 92% y 109%, respectivamente. En el caso de la fibra de Polipropileno PP65, con dosificaciones de 2, 5.5 y 9 kg/m³, se registra un aumento de hasta un 22%, 53% y 84%, respectivamente. Es importante destacar que el estudio anterior llevó a cabo investigaciones utilizando como referencia un concreto sin fibras, en contraste con la presente investigación en la cual se emplea concreto con la incorporación de 20 kg/m³ de fibra de acero comercial como referencia.

Conclusiones

- Se ha determinado que la cantidad óptima de fibra de alambre reciclado N° 16 para mitigar las fisuras causadas por la retracción plástica en pavimento rígido es la inclusión de 20 kg/m³ de esta fibra. Este nivel de adición ha demostrado una reducción del 70% en la incidencia de fisuras, una disminución del 35.2% en la longitud de las mismas, una reducción del 59.6% en el ancho promedio, una disminución del 92% en el área total afectada y una reducción del 75.56% en el área promedio de las fisuras en comparación con el concreto reforzado con fibra de acero comercial en una proporción de 20 kg/m³.
- Se elaboraron 4 cuatro losas de 4.8m² de concreto fibrorreforzado utilizando alambre reciclado N° 16, con adiciones de dosificaciones de 10, 15 y 20 kg/m³ y losa de concreto estándar reforzada con fibra comercial CHO 65/35 NB a escala y condiciones ambientales reales para evaluar la incidencia de fisuras causadas por la retracción plástica en pavimento rígido, siguiendo las directrices establecidas por las normativas ASTM C1579-13, "Método de ensayo normalizado para Evaluación del agrietamiento por contracción plástica del hormigón reforzado con fibra restringida", y ACI 224.1R-07, "Causas, Evaluación y Reparación de Fisuras en Estructuras de Hormigón". Durante este proceso de evaluación, se registraron y analizaron diversos parámetros, incluyendo el número de fisuras, el momento de su aparición, su ancho, longitud, área, temperatura del concreto, velocidad del viento, temperatura ambiente y la clasificación de las fisuras.
- Se determinó la relación de reducción de fisuras (CRR) en -19.7% , 50.2% y 58.7% para concretos con adición de fibra de alambre reciclado N°16 en 10, 15 y 20 kg/m³ respectivamente lo que muestra resultados favorables en la adición de 15 y 20 kg/m³ en la reducción de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido 280kg/cm² con respecto a un concreto con adición de fibra comercial en 20kg/m³.

- Se llevó a cabo la caracterización de las fibras de alambre reciclado N° 16 en relación con sus propiedades físicas y mecánicas, de conformidad con las directrices establecidas en la normativa ASTM 820 para fibras de acero utilizadas en concreto reforzado con fibra. Los resultados de las propiedades mecánicas revelaron una resistencia a la tracción de 1244.15 MPa, una elongación a la rotura de 7.60%, un módulo de elasticidad de 657 MPa y una tasa de oxidación del 4.38%. De los resultados de las propiedades físicas se obtuvo una longitud de 50mm, diámetro de 1.5mm, relación longitud/diámetro de 33 y peso de fibra de 1.09gr. Estos valores permiten clasificar las fibras como tipo I, alambre estirado en frío, según los estándares establecidos.
- Se calculó la variación de la longitud de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido 280 kg/cm² adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 teniendo que las muestras con adiciones de fibras de alambre reciclado N° 16 a 10 kg/m³, 15 kg/m³ y 20 kg/m³ reducen la longitud promedio de las fisuras en un 8%, 33.8% y 34.5% respectivamente en comparación con el concreto de referencia reforzado con fibra de acero comercial en 20kg/m³.
- Se determinó la variación del ancho de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido 280 kg/cm² adicionando fibras de alambre reciclado N° 16 concluyendo que, las muestras con adiciones de fibras de alambre reciclado en 15 kg/m³ y 20 kg/m³ reducen el ancho promedio de las fisuras en un 50.9% y 59.7% respectivamente, mientras que la muestra con 10 kg/m³ las aumenta en 19.3% en comparación con el concreto de referencia reforzado con 20 kg/m³ de fibra de acero comercial. En cuanto a la clasificación de fisuras en el concreto de referencia aparecieron 11 grietas y 9 macrofisuras, siendo predominante las grietas. Para el concreto con adición de alambre reciclado a una dosificación de 10 kg/m³, se generaron 18 grietas, 4 macrofisuras y 1 fisura, siendo predominante las grietas. Sin embargo, en el concreto con adición de alambre reciclado a 15 kg/m³ y 20 kg/m³ no se observaron grietas, solo 7 y 5 macrofisuras, respectivamente y 1 fisura en cada tramo de prueba, predominando las macrofisuras. Esto representa una reducción del 100% en la aparición de grietas para los concretos con adición de 15 y 20 kg/m³.

- Se cuantificó la variación del área de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido adicionando fibras de alambre reciclado N° 16, llegando a la conclusión que las muestras con adiciones de fibras de alambre reciclado a 15 kg/m³ y 20 kg/m³ reducen el área promedio de las fisuras en un 73.5% y 75.6% respectivamente en comparación con el concreto de referencia reforzado con fibra de acero comercial. Mientras que el concreto con adición de alambre reciclado en 10 kg/m³ presenta ligeramente un área promedio mayor de fisura en %1.03 respecto al concreto patrón.
- De acuerdo a los ensayos para determinar las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido incorporando alambre reciclado N° 16 en pesos de 10, 15 y 20 kg/m³ y 20 kg/m³ de fibra de acero comercial, se aprecia que la resistencia a la compresión de la muestra patrón con fibra de acero comercial a los 28 días de edad es de 383 Kg/cm² que equivale a un 100%, por el cual se puede deducir que la muestra con fibras de alambre reciclado en 10, 15 y 20 kg/m³ reduce la resistencia a la compresión en un 6.33, 10.85 y 19.88 % la resistencia a la compresión, concluyendo que a mayor contenido de fibra de alambre reciclado menor resistencia a compresión.
- De acuerdo a los ensayos para determinar las propiedades mecánicas del concreto en estado endurecido incorporando alambre reciclado N° 16 en pesos de 10, 15 y 20 kg/m³ y 20 kg/m³ de fibra de acero comercial, se aprecia que la resistencia a la flexión de la muestra estándar con una adición de fibra comercial de 20 kg/m³ es de 43.15 kg/cm², lo que corresponde al 100%, mientras que para el concreto con la incorporación de alambre reciclado N°16 en dosificaciones de 10, 15 y 20 kg/m³, se obtienen valores de 58.17 kg/cm², 61.16 kg/cm² y 61.41 kg/cm², respectivamente. Por consiguiente, se nota un incremento en la resistencia a la flexión del 34.8%, 41.74% y 42.31% para las muestras con fibras de alambre reciclado de 10, 15 y 20 kg/m³, respectivamente, en comparación con el concreto estándar. Esto confirma la hipótesis inicialmente planteada, que sugiere que un mayor contenido de fibra de alambre conllevará a un aumento en la resistencia a la flexión.

- De acuerdo al ensayo para determinar la trabajabilidad, se observa que el concreto con una adición de 20 kg/m³ de fibra comercial de acero, así como el concreto con una adición de 10 kg/m³ de fibra de alambre reciclado N°16, presentan un asentamiento de 4 pulgadas. Por otro lado, se evidencia que el asentamiento se reduce a 3.5 pulgadas en el concreto que incorpora 15 y 20 kg/m³ de fibra de alambre reciclado. Los resultados obtenidos revelan que a medida que se incrementa la cantidad de acero adicionado al concreto, el nivel de asentamiento disminuye.
- El análisis de precios unitarios reveló que el costo unitario por metro cúbico de concreto de la muestra estándar con fibra comercial de 20 kg/m³ es de S/. 906.6, lo que representa el 100% de referencia. Por otro lado, el costo del concreto con fibra de alambre reciclado es de S/652. 557, S/708. 783 y S/732. 557 para dosificaciones de 10, 15 y 20 kg/m³ respectivamente. Por lo que se evidencia una disminución del 28%, 22% y 19% en el costo por metro cúbico de concreto al emplear fibra de alambre reciclado en dosificaciones de 10,15 y 20 kg/m³ respectivamente en comparación con el concreto con adición de fibra de acero comercial en 20 kg/m³.

Recomendaciones

- Con base en los hallazgos obtenidos, se recomienda emplear dosificaciones de hasta 20 kg/m³ de fibra de alambre reciclado N° 16 para controlar la longitud, el ancho y el área de las fisuras por retracción plástica del concreto, sin afectar significativamente otras propiedades del concreto.
- Para fomentar una mejora continua y asegurar la eficacia de futuras investigaciones, se recomienda realizar ensayos de resistencia a compresión con adiciones de fibra de alambre reciclado N° 16 y compararlo con un concreto sin adición alguna para conocer la variación.
- En función de los resultados y las limitaciones encontradas en esta investigación, se recomienda realizar un estudio con dosificaciones mayores a 20 kg/m³ de fibra de alambre reciclado N° 16 para determinar el control de fisuras por retracción plástica de manera más óptima.
- Se sugiere que, durante el proceso de incorporación de la fibra de alambre reciclado N° 16 en la mezcla de concreto, se extienda el tiempo de mezcla en aproximadamente 3 minutos adicionales. Esta práctica permitirá que el acero se distribuya uniformemente en la mezcla, evitando así la formación de aglomeraciones. El objetivo principal de esta recomendación es asegurar una dispersión homogénea del acero dentro del concreto, lo cual es crucial para mantener la integridad y las propiedades mecánicas deseadas del material final.
- Se aconseja utilizar fibra de alambre reciclado N° 16 en elementos estructurales que están expuestos a una elevada tasa de evaporación del agua del concreto. Esta recomendación se fundamenta en la capacidad de la fibra de alambre reciclado para mejorar la resistencia del concreto frente a las condiciones adversas causadas por la rápida pérdida de humedad. Al integrarse en la mezcla, esta fibra contribuye a minimizar los riesgos asociados con la evaporación acelerada, como la aparición de fisuras y la disminución de la durabilidad estructural. Por lo tanto, su empleo es especialmente beneficioso en situaciones donde el concreto se enfrenta a entornos con altas tasas de evaporación.

- Con respecto a la adición de fibra de alambre reciclado N°16 en la trabajabilidad del concreto, se sugiere el uso de aditivo superplastificante en caso sea necesario en dosis sugerida según el antecedentes [48] de 1,19 kg/m³ por ser concreto reforzado con fibras de acero (RSF).

REFERENCIAS

- [1] C. Sotomayor C., «ENTENDIENDO A LAS FISURAS Y GRIETAS EN LAS ESTRUCTURAS DE CONCRETO».
- [2] K. G. Quispe Napanga, «Aplicación de técnicas sostenibles de reparación de la fisuración del concreto armado en edificaciones», mar. 2018, Accedido: 24 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/10195>
- [3] Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, «Fisuras por contracción plástica del concreto». Accedido: 16 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.imcyc.com/revistacyt/dic11/arttecnologia.html>
- [4] «Dubai: Came across a damaged road sign or crack in the pavement? Here is how you can report it via the RTA app». Accedido: 20 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://gulfnews.com/living-in-uae/transport/dubai-came-across-a-damaged-road-sign-or-crack-in-the-pavement-here-is-how-you-can-report-it-via-the-rta-app-1.1650894204724>
- [5] Sika Perú SA, «Concreto reforzado con fibras», Lima, Perú, Técnico, ago. 2011. [En línea]. Disponible en: https://per.sika.com/dms/getdocument.get/743731e6-f615-3cf1-96f6-f2ebfac98803/Concreto%20Reforzado%20con%20Fibras_Brochure.pdf
- [6] T. Maciel, M. Stumpf, y A. Kern, «Propuesta de un sistema de planificación y control de residuos en la construcción», *Revista ingeniería de construcción*, vol. 31, n.º 2, pp. 105-116, ago. 2016, doi: 10.4067/S0718-50732016000200004.
- [7] M. Maj y A. Ubysz, «Fisuración de losas de cimentación mixtas de hormigón reforzado con fibras por retracción», *Materials Today: Proceedings*, vol. 38, pp. 2092-2098, ene. 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2020.10.155.
- [8] X. Qin y S. Kaewunruen, «Hormigón reforzado con fibra de acero reciclado respetuoso con el medio ambiente», *Construction and Building Materials*, vol. 327, p. 126967, abr. 2022, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2022.126967.
- [9] N. Yousefieh, A. Joshaghani, E. Hajibandeh, y M. Shekarchi, «Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete», *Construction and Building Materials*, vol. 148, pp. 833-845, sep. 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.093.
- [10] F. Grzyski, M. Musiał, y T. Trapko, «Mechanical properties of fibre reinforced concrete with recycled fibres», *Construction and Building Materials*, vol. 198, pp. 323-331, feb. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.11.183.
- [11] J. C. Moya y L. F. C. Lara, «Análisis de las prioridades físicas y mecánicas del hormigón elaborado con fibras de acero reciclado», *INGENIO*, vol. 1, n.º 2, Art. n.º 2, feb. 2019.
- [12] G. S. Cacoango Cando y M. S. Millingalli Vega, «Eficiencia del Control de Fisuramiento por Contracción Plástica del Hormigón mediante el uso de Fibra de Acero 4D», bachelorThesis, Quito: UCE, 2019. Accedido: 1 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19164>
- [13] A. S. Constante Parra, «Comparación técnico-económica del comportamiento a la contracción y temperatura del hormigón de losas tipo Deck, utilizando fibras de acero vs. malla de acero electrosoldada», bachelorThesis, PUCE-Quito, 2019. Accedido: 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec:80/handle/22000/16262>
- [14] W. L. Villarroel Cancho, «Propiedades del concreto f'c: 210kg/cm2 adicionando material reciclado alambre N°8, edificio multifamiliar San Borja Sur, San Borja-2021», *Repositorio Institucional - UCV*, 2021, Accedido: 5 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/87027>

- [15] J. V. Bellido Prado, «Influencia de las fibras de alambre reciclado en el pavimento del concreto $f'c=300$ kg/cm², Av. Javier Pérez de Cuellar, Ayacucho – 2021», *Repositorio Institucional - UCV*, 2021, Accedido: 5 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/64873>
- [16] J. L. Nishihara Alcocer, «Control de fisuras por retracción plástica en pavimentos rígidos mediante concretos con adición de fibras de Agave Americana L. Caso: vías urbanas San Carlos - Huancayo», *Repositorio institucional - URP*, 2019, Accedido: 31 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2198>
- [17] A. J. Sotil Levy y J. E. Zegarra Riveros, «Análisis comparativo del comportamiento del concreto sin refuerzo, concreto reforzado con fibras de acero Wirand® FF3 y concreto reforzado con fibras de acero wirand® FF4 aplicado a losas industriales de pavimento rígido», *Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC)*, nov. 2015, Accedido: 9 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/581616>
- [18] Y. Pacco Quispe y Y. L. Quispe Villena, «Análisis de las propiedades físico-mecánicas del concreto $f'c=210$ kg/cm² incorporando alambre reciclado, distrito Quiquijana – Cusco 2021», *Repositorio Institucional - UCV*, 2021, Accedido: 8 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/102654>
- [19] M. A. Fanzo Masias, «Influencia de las virutas de acero en la fisuración asociada a la contracción plástica en pavimentos de concreto simple para un módulo de rotura de 34 kg/cm² en la provincia de Chiclayo, Lambayeque 2019», 2021, Accedido: 31 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3420>
- [20] «Pautas_Pavimentos.pdf». Accedido: 20 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/normas/normasv/2015/RD003-2015/Pautas_Pavimentos.pdf
- [21] «45359448.pdf». Accedido: 20 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/45359448.pdf>
- [22] C. VISE, «Funciones de las capas de un pavimento». Accedido: 20 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.vise.com.mx/funciones-de-las-capas-de-un-pavimento>
- [23] I. C. Giordani y I. D. Leone, «1º Año Ingeniería Civil – Comisión 02 – Turno Tarde».
- [24] «¿Qué son los pavimento y cómo se clasifican?» Accedido: 20 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://es.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-pavimento-y-c%C3%B3mo-se-clasifican-jhonn-jairo-mocondino-r->
- [25] A. Farro, «Pavimento Rígido», CONSTRUNEIC. Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://construneic.com/pavimentos/pavimento-rigido/>
- [26] «CONCRETO_ESTRUCTURA_PROPIEDADES_Y_MATERIALES PDF PORTLAND.pdf». Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea].
- [27] R. 360 E. CONCRETO, «¿QUÉ ES EL CONCRETO?», 360 EN CONCRETO. Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/que-es-el-concreto/>
- [28] O. J. SILVA, «¿CÓMO SE PRODUCE EL PROCESO DE HIDRATACIÓN DEL CEMENTO?», 360 EN CONCRETO. Accedido: 19 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://360enconcreto.com/blog/detalle/proceso-hidratacion-del-cemento/>
- [29] L. Gutiérrez de López, *El concreto y otros materiales para la construcción*. Universidad Nacional de Colombia, 2003. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/9302>

- [30] A. M. Neville, *PROPERTIES OF CONCRETE. 4TH AND FINAL EDITION*. 1995. Accedido: 19 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://trid.trb.org/View/454875>
- [31] E. Vidaud, «Fisuras en el concreto ¿Síntoma o enfermedad?».
- [32] J. L. Castillo Ninatanta, «Factores intrínsecos del concreto premezclado que producen la fisuración en su proceso de fraguado», *Universidad Privada Antenor Orrego*, 2019, Accedido: 13 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/4898>
- [33] G. Roux, *Mesopotamia: historia política, económica y cultural*. Ediciones AKAL, 1990.
- [34] «Historias de fibra para hormigón (opus caementicium)», Readymesh. Accedido: 8 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.readymesh.es/mas-detalles/antecedentes/>
- [35] Maccaferri, «Fibras como elemento estructural para el Refuerzo en el hormigón», *maccaferri*, ene. 2010, Accedido: 13 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/42781434/Fibras_como_elemento_estructural_para_el_Refuerzo_en_el_hormigon
- [36] NTC 115, «Alambre trefilado de acero de bajo carbono para usos generales». 13 de diciembre de 2004.
- [37] «Formas de acero inoxidable estiradas en frío», Stainless Structurals. Accedido: 27 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.stainless-structurals.com/es/productos/tecnologia-de-produccion/perfiles-estirados-en-frio/>
- [38] «Recocido - Recocido/Normalizado - Tratamiento térmico - Bodycote Plc», Home. Accedido: 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.bodycote.com/es/servicios/tratamiento-termico/annealing-normalising/recocido/>
- [39] «HOJA TECNICA ALAMBRE NEGRO RECOCIDO.pdf». Accedido: 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://acerosarequipa.com//sites/default/files/fichas/2020-07/HOJA%20TECNICA%20ALAMBRE%20NEGRO%20RECOCIDO.pdf?fv=3cFN72u0>
- [40] Sika Perú, «SikaFiber® CHO 65/35 NB». febrero de 2021. [En línea]. Disponible en: https://per.sika.com/dam/dms/pe01/b/sikafiber_cho_6535nb.pdf
- [41] P. Condori-Ojeda, «Niveles de investigación», 2020, Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.academica.org/cporfirio/17>
- [42] C. Ortega, «¿Qué es la investigación explicativa?», QuestionPro. Accedido: 21 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.questionpro.com/blog/es/investigacion-explicativa/>
- [43] M. C. Saavedra Serrano, «Aprendizaje cooperativo basado en la investigación en la educación superior», *REDU: revista de docencia universitaria*, 2018, doi: 10.4995/redu.2018.9305.
- [44] D. Bjegovic, A. Baricevic, S. Lakusic, D. Damjanovic, y I. Duvnjak, «Positive interaction of industrial and recycled steel fibres in fibre reinforced concrete», *Journal of Civil Engineering and Management*, vol. 19, n.º sup1, pp. S50-S60, dic. 2013, doi: 10.3846/13923730.2013.802710.
- [45] A. A. Huacho Ochoa, «Control de fisuras por retracción en estado plástico en pavimentos de concreto mediante fibras de polipropileno, Cotabambas, Apurímac 2021», *Universidad Continental*, 2021, Accedido: 1 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/10787>
- [46] Y. A. Capia Machaca, «Control de fisuras de retracción plástica en pavimentos rígidos

- empleando acero reciclado de neumáticos, Juliaca, Puno 2021», *Repositorio Institucional - UCV*, 2022, Accedido: 31 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/89383>
- [47] K. D. P. Palomino Lazo y M. M. Gutierrez Ramos, «Análisis de las Propiedades Mecánicas del Concreto Reforzado con Fibras de Polipropileno y Acero, y Su Uso en el Control de Fisuras por Contracción Plástica», oct. 2015, Accedido: 28 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/2143>
- [48] M. Leone, G. Centonze, D. Colonna, F. Micelli, y M. A. Aiello, «Fiber-reinforced concrete with low content of recycled steel fiber: Shear behaviour», *Construction and Building Materials*, vol. 161, pp. 141-155, feb. 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.11.101.

ANEXOS



UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIMENTOS

INFORME N° LEM USAT 027-2024-I

FECHA: 22 de Mayo 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Campos Berru Jaime Octavio

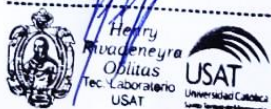
TITULO DE LA TESIS: Evaluación de las Propiedades Mecánicas Y Físicas del Concreto Convencional con la Adición de Residuos de Alambre Negro.

El que suscribe, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifica y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Granulometría
- Peso unitario
- Peso específico
- Grado de absorción
- Compresión
- Flexión
- Evaluación de fisuración
- Temperatura del concreto
- Slump
- Propiedades físicas de la fibra de alambre reciclado: longitud, diámetro, peso
- Propiedades mecánicas de la fibra de alambre reciclado: Tracción, módulo de elasticidad, deformación a la rotura.
- Propiedades químicas de la fibra de alambre reciclado: Oxidación.

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab. Ing. Civil Ambiental



Ilustración 49. Ensayo de propiedades mecánicas y químicas del alambre reciclado

LABORATORIO FÍSICO QUÍMICO AMBIENTAL PERÚ S.A.C.

ENSAYOS QUÍMICOS Y SERVICIOS GENERALES RUC: 20605355189



**INFORME DE ANÁLISIS
F.Q.A. PERÚ S.A.C.**

SOLICITANTES	: JAIME OCTAVIO CAMPOS BERRU
TESIS	: CONTROL DE FISURAS POR RETRACCIÓN PLÁSTICA EN PAVIMENTO RÍGIDO CON ADICIONES DE FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO N°16
MUESTRA	: FIBRA DE ALAMBRE
PROCEDENCIA	: CHICLAYO, LAMBAYEQUE, PERÚ
LUGAR	: UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FECHA DE INGRESO	: 02 DE OCTUBRE DEL 2023
MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO	

ANÁLISIS QUÍMICO:

CODIFICACIÓN DE MUESTRA		A-001
DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	MPa	1244.15
DEFORMACIÓN A LA ROTURA	%	7.6
MÓDULO DE ELASTICIDAD	MPa	657
ENSAYO DE CORROSIÓN	%	4.38

ASTM D3379 "Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus for High-Modulus Single-Filament Materials"

TRUJILLO, 09 DE OCTUBRE DEL 2023


CARLOS ALBERTO MALQUI MUÑOZ
INGENIERO QUÍMICO
CIP 122588



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITES - CARBON - CAL

CELULAR: 944 077 288 - 949 959 632 CORREO ELECTRÓNICO: fqaperusac@gmail.com

Ilustración 50. Informe de Laboratorio - Contenido de humedad

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista : Campos Berru Jaime Octavio
Solicitante : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adi de fibra de alambre reciclado N°16
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Agosto del 2023

Ensayo : Contenido de humedad del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Cantera Pátapo La Victoria S.A.

I .- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	1195.24	1249.14
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	1169.91	1230.13
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	2.17	1.55
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	1.86	

Ensayo : Contenido de humedad del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-535 ó N.T.P. 339.185

Cantera : Tres Tomas-Ferreñafe.

I .- Datos

A.- Peso de muestra húmeda	(gr.)	2521.14	2065.12
B.- Peso de muestra seca	(gr.)	2512.13	2059.34
C.- Peso de recipiente	(gr.)	0.0	0
D.- Contenido de humedad	(%)	0.4	0.3
E.- Contenido de humedad (promedio)	(%)	0.32	

Observaciones :



 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 TÉCNICO DE LABORATORIO

Ilustración 51. Informe de Laboratorio - Peso específico y absorción

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES

Tesista : Campos Berru Jaime Octavio
Solicitante : Ingenieria Civil Ambiental
Tesis : Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 31 de agosto del 2023

Ensayo : **Peso específico y Absorción del agregado fino**
Referencia : Norma ASTM C-128 ó N.T.P. 400.022
Cantera : Cantera Pátapo La Victoria S.A.

I.- Datos.

1.- Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frasco + P	(g)	1008.6	1008.6
2.- Pesc Peso de la Arena Sup. Seca + Peso del Frascoc	(g)	701.68	701.68
3.- Peso del Agua	(g)	306.87	306.87
4.- Peso de la Arena Secada al Horno + Peso del Frasc	(g)	698.47	698.47
5.- Peso del Frasco	(g)	201.68	201.68
6.- Peso de la Arena Secada al Horno	(g)	497	497
7.- Volumen del frasco	(g)	500	500

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.572
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.589
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.616
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	0.65

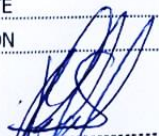
Ensayo : **Peso específico y Absorción del agregado grueso**
Referencia : Norma ASTM C-127 ó N.T.P. 400.021
Cantera : Tres Tomas-Ferreñafe.

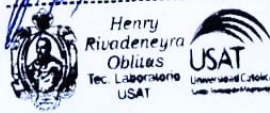
I.- Datos.

1.- Peso de la muestra secada al horno	(g)	5020	5020
2.- Peso de la muestra superficialmente seca	(g)	5070	5070
3.- Peso de la muestra dentro del agua + peso del ca	(g)	4170	4170
4.- Peso de la canastilla	(g)	1010	1010
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	(g)	3160	3160

II.- Resultados

A.- PESO ESPECIFICO DE MASA	(g/cm3)	2.628
B.- PESO ESP. DE MASA SAT. SUP. SECO	(g/cm3)	2.654
C.- PESO ESPESIFICO APARENTE	(g/cm3)	2.699
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	(%)	1.00


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 USAT
 Universidad Católica
 Lambayeque



 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 USAT
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Ilustración 52. Informe de Laboratorio - Peso unitario del agregado grueso

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Campos Berru Jaime Octavio
Solicitante : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Agosto del 2023

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

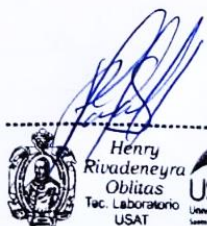
Cantera : Tres Tomas-Ferreñafe.


A.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta	(gr.)	7790	7740
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7790	7740
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1417	1408
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1408	

B.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta	(gr.)	10120	10120
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		10120.0	10120.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1841	1841
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1835	


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 USAT
 Universidad Católica
 Santo Toribio de Mogrovejo



 USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Ilustración 53. Informe de Laboratorio - Peso unitario del agregado fino

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Campos Berru Jaime Octavio
Escuela Ingeniería Civil Ambiental
Tesis Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Agosto del 2023

Ensayo : Peso unitario del agregado fino
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017

Cantera : Cantera Pátapo La Victoria S.A.

1.- PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta	(gr.)	9158	9148
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9158	9148
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1666	1664
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1634	

2.- PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta	(gr.)	9884	9880
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		9884	9880
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1798	1797
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1765	


 Henry Rivadeneira Oblitas
 Tec. Laboratorio USAT


 TÉCNICO DE LABORATORIO

Ilustración 54. Informe de Laboratorio – Granulometría del agregado grueso

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES

Tesista : Campos Berru Jaime Octavio
Solicitante : Ingeniería Civil Ambiental
Tesis : Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 29 de Agosto del 2023

Ensayo : Peso unitario del agregado grueso
Referencia : Norma ASTM C-29 ó N.T.P. 400.017


Cantera : Tres Tomas-Ferreñafe.

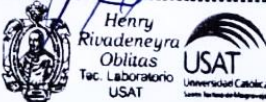
A. - PESO UNITARIO SUELTO

1.- Peso de la muestra suelta	(gr.)	7790	7740
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		7790	7740
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario suelto húmedo	(kg/m ³)	1417	1408
6.- Peso unitario suelto seco (Promedio)	(kg/m ³)	1408	

B. - PESO UNITARIO COMPACTADO

1.- Peso de la muestra suelta	(gr.)	10120	10120
2.- Peso del recipiente	(gr.)	0.0	0.0
3.- Peso del material		10120.0	10120.0
4.- Constante ó Volumen	(m ³)	0.00550	0.00550
5.- Peso unitario compactado húmedo	(kg/m ³)	1841	1841
6.- Peso unitario compactado seco (Promedio)	(kg/m ³)	1835	


 Henry Rivadeneira Obillas
 Tec. Laboratorio USAT


 USAT
 Universidad Católica
 Lambayeque





 USAT
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYOS DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Ilustración 56. Informe de Laboratorio - Compresión




UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 FACULTAD DE INGENIERÍA
 ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



Tesista : Campos Berru Jaime Octavo
 Atención : Escuela de Ingeniería Civil Ambiental
 Tesis : Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16

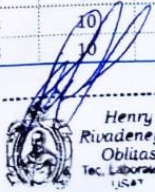
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque
 Fecha de emisión : 15/05/2024

Código : N.T.P. 339.034 - 2008 / ASTM C-39/39M - 05
 Título : HORMIGÓN (CONCRETO) Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas




TECNICO DE LABORATORIO

N°	Descripción	Fecha		Edad (días)	Dmt. (Ø)	Área (cm ²)	Cargas		Promedio kg/cm2
		Vaciado	Rotura				Lbs./cm ²	kg/cm2	
	f'c= 280								
1	Diseño de Mezcla Patrón con Fibra Comercial SikaFiber® CHO 65/35 NB - 20kg/m3	10/10/23	17/10/23	7	10	79	21675.8	276	261
2		10/10/23	17/10/23	7	10	79	19917.1	254	
3		10/10/23	17/10/23	7	10	79	19917.1	254	
4		10/10/23	24/10/23	14	10	79	22449.2	286	278
5		10/10/23	24/10/23	14	10	79	24277.5	309	
6		10/10/23	24/10/23	14	10	79	18886.7	240	
7		10/10/23	07/11/23	28	10	79	29074.4	370	383
8		10/10/23	07/11/23	28	10	79	30880.9	393	
9		10/10/23	07/11/23	28	10	79	30318.6	386	
10	Diseño de Mezcla con adición de fibra de Alambre N°16 10kg/m3	11/10/23	18/10/23	7	10	79	24098.3	307	296
11		11/10/23	18/10/23	7	10	79	24020.2	306	
12		11/10/23	18/10/23	7	10	79	21552.6	274	
13		11/10/23	25/10/23	14	10	79	26458.5	337	337
14		11/10/23	25/10/23	14	10	79	26531.7	338	
15		11/10/23	25/10/23	14	10	79	26531.7	338	
16		11/10/23	08/11/23	28	10	79	28187.4	359	
17	11/10/23	08/11/23	28	10	79	28187.4	359	359	
18	11/10/23	08/11/23	28	10	79	28187.4	359		
19	Diseño de Mezcla con adición de fibra de Alambre N°16 15kg/m3	13/10/23	20/10/23	7	10	79	20223.7	258	264
20		13/10/23	20/10/23	7	10	79	21661.8	276	
21		13/10/23	20/10/23	7	10	79	20239.2	258	
22		13/10/23	27/10/23	14	10	79	23012.8	293	278
23		13/10/23	27/10/23	14	10	79	20461.5	261	
24		13/10/23	27/10/23	14	10	79	22083.2	281	
25		13/10/23	10/11/23	28	10	79	26407.2	336	
26		13/10/23	10/11/23	28	10	79	27142.2	346	
27	13/10/23	10/11/23	28	10	79	26926	343		
28	Diseño de Mezcla con adición de fibra de Alambre N°16 20kg/m3	23/10/23	30/10/23	7	10	79	14882.4	189	194
29		23/10/23	30/10/23	7	10	79	15397	196	
30		23/10/23	30/10/23	7	10	79	15360.7	196	
31		23/10/23	06/11/23	14	10	79	21739.8	277	249
32		23/10/23	06/11/23	14	10	79	19080.6	242	
33		23/10/23	06/11/23	14	10	79	19273.3	227	
34		23/10/23	20/11/23	28	10	79	4110.4	307	
35		23/10/23	20/11/23	28	10	79	24110.4	307	
36		23/10/23	20/11/23	28	10	79	24110.4	307	



Henry Rivadeneira Obliuas
 Tec. Laboratorio USAT



USAT
 Universidad Católica

Ilustración 57. Informe de laboratorio - Flexión



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



INFORME DE ENSAYO

Expediente N°
Tesis : Campos Berru Jaime
Atención : UNIVERSIDAD SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
Proyecto : Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N° 16
Lugar : Dist. Chiclayo, Prov. Chiclayo, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión:
Norma : NTP 339.078 -2012
Título : Método de ensayo para determinar la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios del tramo

Muestra N°	Denominación de Espécimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Carga (N)	Antigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (MPa)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²)	Módulo de Rotura (Kg/cm ²) Promedio
1	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra de acero comercial	23/10/2023	20/11/2023	31459.7689	28	4.4	44.36	43.15
2	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra de acero comercial	23/10/2023	20/11/2023	29583.5702	28	4.3	43.34	
3	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra de acero comercial	23/10/2023	20/11/2023	26692.5845	28	4.1	41.75	
4	CONCRETO 280 kg/cm ² + 10kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	20/10/2023	17/11/2023	38825.3101	28	5.6	56.98	58.17
5	CONCRETO 280 kg/cm ² + 10kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	20/10/2023	17/11/2023	41075.9248	28	5.9	60.18	
6	CONCRETO 280 kg/cm ² + 10kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	20/10/2023	17/11/2023	37810.327	28	5.6	57.35	
7	CONCRETO 280 kg/cm ² + 15kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	03/04/2024	01/05/2024	43933.568	28	6.3	64.72	61.16
8	CONCRETO 280 kg/cm ² + 15kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	03/04/2024	01/05/2024	41187.72	28	6.0	60.90	
9	CONCRETO 280 kg/cm ² + 15kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	03/04/2024	01/05/2024	42560.644	28	5.7	57.87	
10	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	04/04/2024	02/05/2024	43247.106	28	6.4	65.02	61.41
11	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	00/01/1900	28/01/1900	40010.928	28	5.6	56.62	
12	CONCRETO 280 kg/cm ² + 20kg/m ³ Fibra Alambre reciclado N 16	00/01/1900	28/01/1900	41629.017	28	6.1	62.59	


 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Téc. Laboratorio USAT


 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES
 TÉCNICO DE LABORATORIO

Ilustración 58. Diseño de mezcla - Concreto patrón



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



CERTIFICADO DE ENSAYO					
DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI					
CONCRETO PATRÓN - CON ADICIÓN DE 20KG/M3 FIBRA DE ACERO COMERCIAL CHO 65/35					
PROYECTO:	Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16				
UBICACIÓN:	CHICLAYO - LAMBAYEQUE				
TESISTA:	Jaime Octavio Campos Berru				
ESTRUCTURA:	CONCRETO - PAVIMENTO	f'c DISEÑO (kg/cm2):			280
FECHA ENSAYO:	2023				
DATOS		MATERIALES			
f'c DISEÑO (Kg/cm2)	280	CEMENTO	TIPO I (3.12)		
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	AGUA	POTABLE (RED PÚBLICA)		
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	PLÁSTICA (SP. 3'-4')	ADITIVOS	NINGUNO		
AIRE INCORPORADO	NO	AGREGADOS:	A. FINO (Cantera Patapo La Victoria S.A.) A.GRUESO (TRES TOMAS)		
EXPOSICIÓN A INTERPERIE	NO PRECISA	ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO
OBSERVACIONES	NINGUNA	P. ESPECÍFICO DE MASA	g/cm3	2.57	2.63
		% DE ABSORCIÓN	%	0.65	1.00
		CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.86	0.32
		MODULO DE FINEZA	-	3.08	---
		TAMANO MAX. NOMINAL	-	---	3/4"
		P. UNIT. COMPACTADO	kg/m3	1765	1835
		P. UNIT. SUELTO	kg/m3	1634	1408
PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)					
RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	315	kg/cm2	
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO	A/C	=	0.503		
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m3	Tabla
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%	tabla
FACTOR CEMENTO	F.C	=	9.6	bol/m3	
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G	=	922.87	kg/m3	
DISEÑO					
1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			4. CORRECIÓN POR HUMEDAD		
CEMENTO	=	0.131 m3	PESOS HUMEDOS		
AGUA	=	0.205 m3	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m3
AIRE	=	0.020 m3	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m3
A. GRUESO	=	0.351 m3	HUMEDAD SUPERFICIAL		
TOTAL	=	0.707 m3	A. FINO	1.21	%
			A. GRUESO	-0.68	%
2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO			APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
VOLUMEN ABSOLUTO:	0.293	m3	A. FINO	9.12	lt/m3
PESO SECO:	754.306	kg/m3	A. GRUESO	-6.24	lt/m3
			APORTE TOTAL	2.88	
3. VALORES DE DISEÑO			AGUA EFECTIVA		
CEMENTO:	407.555	kg/m3	202.12 lt		
AGUA DE DISEÑO:	205.000	lt	5. PESOS CORREGIDOS		
A. FINO SECO:	754.306	kg/m3	CEMENTO	407.55	kg/m3
A. GRUESO SECO:	922.873	kg/m3	AGUA EFECTIVA	202.12	lt
FIBRA DE ACERO COMERCIAL	20.000	kg/m3	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m3
			A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m3
			FIBRA DE ACERO COMERCIAL	20.00	kg/m3
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCIÓN EN PESO	1.00	1.89	2.27	2.09 kg	21.08 L
PROPORCIÓN EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO	1.00	1.73	2.42	2.09 kg	21.08 L
REAJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEB POR SLUMP Y GRAVA:					
Cantidad de cemento	590.636	kg/m3	FACTOR CEMENTO	13.9	BOLSAS/M3
Agua de mezclado	297.090	lt/m3			
Arena	716.366	kg/m3			
Grava	757.977	kg/m3			
FIBRA DE ACERO COMERCIAL	20.000	kg/m3			
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCIÓN EN PESO	1.00	2.21	1.28	1.44 kg	21.38 L
PROPORCIÓN EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO	1.00	1.71	1.37	1.44 kg	21.38 L
POR BALDE DE 15 LITROS EN OBRA	1	2.6	2.6	1.44 kg	1.4



Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT



TECNICO DE LABORATORIO

Ilustración 59. Diseño de mezcla - C + 10 kg/m³ alambre reciclado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



CERTIFICADO DE ENSAYO					
DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI					
CONCRETO CON ADICIÓN DE 10KG/M ³ FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO N°16					
PROYECTO:	Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16				
UBICACIÓN:	CHICLAYO - LAMBAYEQUE				
TESISTA:	Jaime Octavio Campos Berrú				
ESTRUCTURA:	CONCRETO - PAVIMENTO				
FECHA ENSAYO:	2023		f'c DISEÑO (kg/cm ²):	280	
DATOS			MATERIALES		
f'c DISEÑO (Kg/cm ²)	280		CEMENTO	TIPO I (3-12)	
ESTRUCTURA	PAVIMENTO		AGUA	POTABLE (RED PÚBLICA)	
			ADITIVOS	NINGUNO	
			AGREGADOS:	A. FINO (Cantera Patapo La Victoria S.A.) A. GRUESO (TRES TOMAS)	
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	PLÁSTICA (SP 3'-4')		ENSAYO	UND	A. FINO A. GRUESO
AIRE INCORPORADO	NO		P. ESPECÍFICO DE MASA	gr/cm ³	2.57 2.63
EXPOSICION A INTERPERIE	NO PRECISA		% DE ABSORCIÓN	%	0.65 1.00
OBSERVACIONES	NINGUNA		CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.86 0.32
			MODULO DE FINEZA		3.08
			TAMAÑO MÁX. NOMINAL		3/4"
			P. UNIT. COMPACTADO	kg/m ³	1765 1835
			P. UNIT. SUELTO	kg/m ³	1634 1408
PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)					
RESISTENCIA PROMEDIO	F _{cr} =		315	kg/cm ²	
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO	A/C =		0.503		
AGUA DE MEZCLADO	=		205	lt/m ³ Tabla	
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A =		2.0	% tabla	
FACTOR CEMENTO	F.C =		9.6	bol/m ³	
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G =		922.87	kg/m ³	
DISEÑO					
1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			4. CORRECCION POR HUMEDAD		
CEMENTO =	0.131 m ³		PESOS HUMEDOS		
AGUA =	0.205 m ³		A. FINO HUMEDO	768.30 kg/m ³	
AIRE =	0.020 m ³		A. GRUESO HUMEDO	925.82 kg/m ³	
A. GRUESO =	0.351 m ³		HUMEDAD SUPERFICIAL		
TOTAL =	0.707 m ³		A. FINO	1.21 %	
			A. GRUESO	-0.68 %	
2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO			APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
VOLUMEN ABSOLUTO:	0.293 m ³		A. FINO	9.12 lt/m ³	
PESO SECO:	754.306 kg/m ³		A. GRUESO	-6.24 lt/m ³	
			APORTE TOTAL	2.88	
3. VALORES DE DISEÑO			AGUA EFECTIVA		
CEMENTO :	407.555 kg/m ³		202.12 lt		
AGUA DE DISEÑO :	205.000 lt		5. PESOS CORREGIDOS		
A. FINO SECO :	754.306 kg/m ³		CEMENTO	407.55 kg/m ³	
A. GRUESO SECO :	922.873 kg/m ³		AGUA EFECTIVA	202.12 lt	
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	10.000 kg/m ³		A. FINO HUMEDO	768.30 kg/m ³	
			A. GRUESO HUMEDO	925.82 kg/m ³	
			FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	10.00 kg/m ³	
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO	1.00	1.89	2.27	1.04 kg	21.08 L
PROPORCION EN VOLUMEN	1.00	1.73	2.42	1.04 kg	21.08 L
REAJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEB POR SLUMP Y GRAVA:					
Cantidad de cemento	590.636	Kg/m ³		FACTOR CEMENTO	13.9 BOLSAS/M ³
Agua de mezclado	297.090	Lt/m ³			
Arena	716.366	Kg/m ³			
Grava	757.977	Kg/m ³			
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	10.000	kg/m ³			
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO	1.00	1.21	1.28	0.72 kg	21.38 L
PROPORCION EN VOLUMEN	1.00	1.11	1.37	0.72 kg	21.38 L
POR BALDE DE 15 LITROS EN OBRA	1	2.1	2.6	0.72 kg	14.1 L



Henry Rivadeneira Obilias
Tec. Laboratorio USAT



Ilustración 60. Diseño de mezcla - C + 15 kg/m³ alambre reciclado



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL
LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y ENSAYO DE MATERIALES



CERTIFICADO DE ENSAYO					
DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI					
CONCRETO CON ADICIÓN DE 15KG/M ³ FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO N°16					
PROYECTO:	Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16				
UBICACIÓN:	CHICLAYO - LAMBAYEQUE				
TESISTA:	Jaime Octavio Campos Berrú				
ESTRUCTURA:	CONCRETO - PAVIMENTO	f'c DISEÑO (kg/cm ²):			280
FECHA ENSAYO:	2023				
DATOS		MATERIALES			
f'c DISEÑO (Kg/cm ²)	280	CEMENTO	TIPO I (3,12)		
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	AGUA	POTABLE (RED PÚBLICA)		
		ADITIVOS	NINGUNO		
		AGREGADOS:	A. FINO (Cantera Pátapo La Victoria S.A.) A.GRUESO (TRES TOMAS)		
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	PLÁSTICA (SP 3"-4")	ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO
AIRE INCORPORADO	NO	P. ESPECÍFICO DE MASA	gr/cm ³	2.57	2.63
EXPOSICION A INTERPERIE	NO PRECISA	% DE ABSORCIÓN	%	0.65	1.00
OBSERVACIONES	NINGUNA	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.86	0.32
		MODULO DE PINEZA		3.08	---
		TAMANO MAX. NOMINAL		---	3/4"
		P. UNIT. COMPACTADO	kg/m ³	1765	1835
		P. UNIT. SUELTO	kg/m ³	1634	1408
PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)					
RESISTENCIA PROMEDIO	f'cr	=	315	kg/cm ²	
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO	A/C	=	0.503		
AGUA DE MEZCLADO		=	205	lt/m ³	Tabla
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO	% A	=	2.0	%	tabla
FACTOR CEMENTO	F.C.	=	9.6	bol/m ³	
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO	A.G.	=	922.87	kg/m ³	
DISEÑO					
1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			4. CORRECCION POR HUMEDAD		
CEMENTO	=	0.131 m ³	PESOS HUMEDOS		
AGUA	=	0.205 m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³
AIRE	=	0.020 m ³	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³
A. GRUESO	=	0.351 m ³	HUMEDAD SUPERFICIAL		
TOTAL	=	0.707 m ³	A. FINO	1.21	%
			A. GRUESO	-0.68	%
2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO			APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
VOLUMEN ABSOLUTO:	0.293	m ³	A. FINO	9.12	lt/m ³
PESO SECO:	754.306	kg/m ³	A. GRUESO	-6.24	lt/m ³
			APORTE TOTAL	2.88	
3. VALORES DE DISEÑO			5. PESOS CORREGIDOS		
CEMENTO :	407.555	kg/m ³	CEMENTO	407.55	kg/m ³
AGUA DE DISEÑO :	205.000	lt	AGUA EFECTIVA	202.12	lt
A. FINO SECO :	754.306	kg/m ³	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m ³
A. GRUESO SECO :	922.873	kg/m ³	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m ³
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	15.000	kg/m ³	FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	15.00	kg/m ³
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO	1.00	1.89	2.27	1.56 kg	21.08 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO	1.00	1.73	2.42	1.56 kg	21.08 L
REAJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEB POR SLUMP Y GRAVA:					
Cantidad de cemento	590.636	Kg/m ³	FACTOR CEMENTO	13.9	BOLSAS/M ³
Agua de mezclado	297.090	Lt/m ³			
Arena	716.366	Kg/m ³			
Grava	757.977	Kg/m ³			
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	15.000	kg/m ³			
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCION EN PESO	1.00	1.27	1.28	1.08 kg	21.38 L
PROPORCION EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO	1.00	1.31	1.37	1.08 kg	21.38 L
POR BALDE DE 15 LITROS EN OBRA	1	2.1	2.6	1.08 kg	1.4

Henry Rivasneyra Obllias
Tec. Laboratorio USAT





CERTIFICADO DE ENSAYO					
DISEÑO DE MEZCLA TEÓRICO SEGÚN EL MÉTODO DEL COMITÉ 211 ACI					
CONCRETO CON ADICIÓN DE 20KG/M3 FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO N°16					
PROYECTO:	Control de fisuras por retracción plástica en pavimento rígido con adiciones de fibra de alambre reciclado N°16				
UBICACIÓN:	CHICLAYO - LAMBAYEQUE				
TESISTA:	Jaime Octavio Campos Berrú				
ESTRUCTURA:	CONCRETO - PAVIMENTO	f'c DISEÑO (kg/cm2):		280	
FECHA ENSAYO:	2023				
DATOS		MATERIALES			
f'c DISEÑO (Kg/cm2)	280	CEMENTO	TIPO I (3.12)		
ESTRUCTURA	PAVIMENTO	AGUA	POTABLE (RED PÚBLICA)		
		ADITIVOS	NINGUNO		
		AGREGADOS:	A. FINO (Cantera Pátao La Victoria S.A.) A. GRUESO (TRES TOMAS)		
CONSISTENCIA DEL CONCRETO	PLÁSTICA (SP 3"-4")	ENSAYO	UND	A. FINO	A. GRUESO
		P. ESPECÍFICO DE MASA	gr/cm3	2.57	2.63
AIRE INCORPORADO	NO	% DE ABSORCIÓN	%	0.65	1.00
EXPOSICIÓN A INTERPERIE	NO PRECISA	CONTENIDO DE HUMEDAD	%	1.86	0.32
OBSERVACIONES	NINGUNA	MÓDULO DE FINEZA	---	3.08	---
		TAMANO MÁX. NOMINAL	---	---	3/4"
		P. UNIT. COMPACTADO	kg/m3	1765	1835
		P. UNIT. SUELTO	kg/m3	1634	1408
PARÁMETROS DE DISEÑO (ACI)					
RESISTENCIA PROMEDIO		f _{cr}	=	315	kg/cm2
RELACION AGUA CEMENTO DE DISEÑO		A/C	=	0.503	
AGUA DE MEZCLADO			=	205	lt/m3 Tabla
CONTENIDO DE AIRE ATRAPADO		% A	=	2.0	% tabla
FACTOR CEMENTO		F.C	=	9.6	bol/m3
CONTENIDO DE AGREGADO GRUESO		A.G	=	922.87	kg/m3
DISEÑO					
1. CALCULO DE VOLUMENES ABSOLUTOS			4. CORRECCION POR HUMEDAD		
CEMENTO	=	0.131 m3	PESOS HUMEDOS		
AGUA	=	0.205 m3	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m3
AIRE	=	0.020 m3	A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m3
A. GRUESO	=	0.351 m3	HUMEDAD SUPERFICIAL		
TOTAL	=	0.707 m3	A. FINO	1.21	%
			A. GRUESO	-0.68	%
2. CONTENIDO DE AGREGADO FINO			APORTE DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS		
VOLUMEN ABSOLUTO:		0.293 m3	A. FINO	9.12	lt/m3
PESO SECO:		754.306 kg/m3	A. GRUESO	-6.24	lt/m3
			APORTE TOTAL	2.88	
3. VALORES DE DISEÑO			AGUA EFECTIVA		
CEMENTO :		407.555 kg/m3		202.12	lt
AGUA DE DISEÑO :		205.000 lt	5. PESOS CORREGIDOS		
A. FINO SECO :		754.306 kg/m3	CEMENTO	407.55	kg/m3
A. GRUESO SECO :		922.873 kg/m3	AGUA EFECTIVA	202.12	lt
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO		20.000 kg/m3	A. FINO HUMEDO	768.30	kg/m3
			A. GRUESO HUMEDO	925.82	kg/m3
			FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	20.00	kg/m3
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCIÓN EN PESO	1.00	1.89	2.27	2.09 kg	21.08 L
PROPORCIÓN EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO	1.00	1.73	2.42	2.09 kg	21.08 L
REAJUSTE DE LA MEZCLA DE PRUEBA POR SLUMP Y GRAVA:					
Cantidad de cemento	590.636	Kg/m3	FACTOR CEMENTO		13.9
Agua de mezclado	297.090	Lt/m3	BOLSAS/M3		
Arena	716.366	Kg/m3			
Grava	757.977	Kg/m3			
FIBRA DE ALAMBRE RECICLADO	20.000	kg/m3			
RESULTADOS					
	CEMENTO	A. FINO	A. GRUESO	FIBRA	AGUA
PROPORCIÓN EN PESO	1.00	1.21	1.28	1.44 kg	21.38 L
PROPORCIÓN EN VOLUMEN POR PIE CÚBICO	1.00	1.11	1.37	1.44 kg	21.38 L
POR BALDE DE 15 LITROS EN OBRA		2.1	2.6	1.44 kg	1.4

Henry Rivadeneira Oblitas
Tec. Laboratorio USAT
USAT
Universidad Católica
Santo Toribio de Mogrovejo

