

Rigid pavement design using steel fibers for the Tinta Population Center– Oyon – Lima , 2024

Edison Apolinario Cruz¹; Carol Yaguillo Aliaga²; Russell Nazario Ticse³; Aristoteles Figueroa Lezano⁴
^{1,2,3,4} Universidad Tecnologica del Peru UTP, Peru, U18300903@utp.edu.pe, U18303034@utp.edu.pe, mazariot@uni.pe, C23382@utp.edu.pe

Abstract– This research aims to design a rigid pavement with increased strength in order to reduce pavement thickness, so that material costs can be reduced, with more resistant pavements the traffic service is improved in the province of Oyon in Peru, by designing a new hydraulic concrete pavement with a metallic additive (steel fibers) to address cracking problems and increase the life of the current pavement. This experimental study will compare the performance of the existing pavement with the proposed design by adding steel fibers with percentages of 1%, 2%, 3% and 4%. As a result, a better performance was obtained with 3% of steel fibers in the mix having a strength of 397 kg/cm² while the original design only has a strength of 268 kg/cm² which led to a 25% (20 cm to 15 cm) reduction of its thickness from the original pavement.

Keywords-- Rigid Pavement, Steel Fibers, Pavement Design, Concrete Strength.

Diseño de pavimento rígido aplicando fibras de aceros para el Centro Poblado de Tinta – Oyón – Lima, 2024

Edison Apolinario Cruz¹; Carol Yaguillo Aliaga²; Russell Nazario Ticse³; Aristóteles Figueroa Lezano⁴
^{1,2,3,4} Universidad Tecnológica del Peru UTP, Peru, U18300903@utp.edu.pe, U18303034@utp.edu.pe, rnazariot@uni.pe, C23382@utp.edu.pe

Resumen– Esta investigación tiene como objetivo diseñar un pavimento rígido con mayor resistencia con el fin de disminuir el espesor del pavimento, de tal forma que pueda disminuir los costos de materiales, con pavimentos más resistentes se mejora el servicio de tránsito en la provincia de Oyón en Perú, mediante el diseño de un nuevo pavimento de concreto hidráulico con un aditivo metálico (fibras de acero) para abordar los problemas de agrietamiento y aumentar la vida útil del pavimento actual. Este estudio experimental comparará el desempeño del pavimento existente con el diseño propuesto al agregar fibras de acero con porcentajes de 1%, 2%, 3% y 4%. Como resultado se obtuvo un mejor performance con 3% de fibras acero en la mezcla al tener una resistencia de 397 kg/cm² mientras que el diseño original solo tiene una resistencia de 268 kg/cm² lo que condujo a una reducción del 25% (20 cm a 15 cm) de su espesor del pavimento original.

Palabras clave– Pavimento Rígido, Fibras de Acero, Diseño de Pavimento, Resistencia de Concreto.

I. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico mediante la producción minera, ganadera y agrícola del Centro Poblado de San Sebastián de Tinta de la provincia de Oyón viene fuertemente acompañado de la planificación urbanística y de la red vial, pues esto asegura el transporte de los productos mediante vehículos de carga pesada (camiones y maquinaria minera) desde el punto de extracción hasta su distribución, lo cual se consideró y se construyó dicho tipo de pavimento en las calles del centro poblado San Sebastián de Tinta. No obstante, en cuanto las dimensiones del pavimento empleado en la zona, este pudo ser de menor espesor si se hubiera utilizado alguna otra opción de concreto con mayor resistencia que impida consecuentemente su deterioro estimado en el cálculo previo tras el flujo constante de vehículos livianos y de carga, que acortan el tiempo de utilidad del pavimento. Por ello, vemos necesario encontrar una nueva dosificación con un nuevo aditivo como las fibras de acero (desde este momento lo denominaremos F.A.) para mejorar el concreto convencional con el propósito de aplicarlo en el pavimento rígido (a partir de ahora lo denominaremos P.R.) empleando el método de la American Concrete Institute (ACI).

II. ESTADO DEL ARTE

En la construcción de pavimentos es muy común ver el uso de agregados pétreos en la mezcla de concreto a nivel mundial, en el cual, para obtener resistencias específicas solamente se varía los porcentajes en la dosificación. Según

[1],[2] estos cambios resultan ser muy favorables, obteniendo un concreto consistente a la compresión, sin embargo, sus capacidades a la resistencia a esfuerzo de tracción y flexión son muy reducidas. Dicha deficiencia del concreto convencional se manifiesta como grietas en paños completos de los P.R. tras haber sido sometidos a grandes pesos de vehículos de gran tonelaje o vibraciones naturales por movimientos sísmicos. Por ello para evitar dichos daños, en India investigan sobre el reforzamiento del concreto. Así en

[3] en su estudio usa F.A. con extremos ganchudos con el fin de fortalecer las propiedades mecánicas de dicho elemento. De modo similar y con el mismo material, en Lambayeque-Perú,

[4] abordaron el tema con el propósito de mejorar la resistencia del concreto añadiendo las F.A. trefilado en porcentajes de 1%, 1.5%, 2% y 2.5% al concreto fresco.

Ante lo expuesto, se busca del concreto, la optimización de sus cualidades mecánicas para ser aplicado en un P.R. Para ello, [5] también recomienda hacer el uso de las F.A. Dicha incorporación dará como resultado la disminución de agrietamientos, mejorando su resistencia, y extendiendo la vida útil del mismo. A continuación, se dará a conocer los estudios realizados que respaldan lo mencionado.

De las investigaciones realizadas respecto al tema en mención, algunos autores emplearon enfoques metodológicos experimentales en sus estudios para determinar las características mecánicas de la mezcla de concreto reforzado. Al respecto, [5],[6] prepararon y ensayaron probetas que incluían porcentajes variables de F.A. seleccionados con extremos ganchudos. Del mismo modo, [7] sometieron a esfuerzos axiales, probetas cúbicas y cilíndricas de concreto en las que se incluyeron limaduras de hierro (residuos metálicos) para aumentar sus capacidades de resistencia a esfuerzos de compresión y tracción indirecta respectivamente. En cuanto a las técnicas cuantitativas en los estudios mencionados, los resultados de los ensayos fueron organizados en tablas de las cuales se generaron gráficos que mostraron el comportamiento de la influencia de dicho agregado metálico, permitiendo un análisis que determinó el óptimo porcentaje para las FA en una mezcla de concreto. Ante lo expuesto, podemos destacar

la utilización común de FA como un agregado nuevo, y un posible material para obtener concretos de alta resistencia.

Por otro lado, otros investigadores emplean un enfoque de metodología mixta para evaluar el reforzamiento de concreto. Así [8] analizaron un estudio experimental que busca fortalecer el concreto mediante la incorporación de FA. En base a ello se evaluaron las muestras mediante pruebas de fatiga, desgaste y absorción de agua, con el cual determinaron la durabilidad de la muestra de concreto endurecido y el motivo por el cual este resulta ser mejor que el concreto convencional y su idoneidad para la construcción de pavimentos rígidos. Así mismo [9] utilizaron un enfoque comparativo de los resultados que hallaron en sus ensayos de flexión, tracción dividida, doble punzonamiento y tensión directa con la de otros autores, con el fin de evaluar la forma más adecuada de fortificar el concreto mediante FA. De los casos expuestos, se observa que ambos autores tomaron como referencia los resultados de estudios experimentales para comparar y buscar un mejor diseño de concreto reforzado.

Para obtener una mayor resistencia, diversos autores emplearon métodos de incorporación de la F.A. en el diseño del concreto. Así [10], propuso la linealidad de dichas fibras, donde los ensayos consistieron en usar 15 muestras de concreto fresco, entre ellas destacan muestras con F.A. distribuidas de manera aleatoria y otras distribuidas de manera lineal. En dichos especímenes se aplicaron los ensayos de fundición y fractura del FRC para una resistencia de compresión de 60 MPa, con cuyos resultados realizaron cuadros comparativos a partir de las gráficas arrojadas en dichas pruebas de laboratorio. Con la misma intención, [11] aplicó la linealidad de las F.A. En ensayos por prueba de fractura por flexión en tres puntos, enfatizando el estudio del comportamiento lineal, se analizó el volumen y la relación que existe con respecto a la entalladura inicial, así evaluaron la orientación más adecuada de las F.A. al ser agregada en el concreto fresco. Ante lo expuesto se puede destacar la presencia de la implementación de fibra de acero en sus estudios, enfocados en la dirección de posicionamiento de estas.

En vista de que muchos investigadores han enfocado sus estudios en el comportamiento del concreto con F.A. para poder aumentar la resistencia a la fractura, una de estas investigaciones es abordada por [12], que estudia esta propiedad realizando muestras de viga Edge Notch Disc Bend (ENDB), modelo que trabaja a partir de cargas en los modos, I y III, que según el criterio de diseño de mezcla, se realizan las muestras dejándolas 28 días en la máquina de prueba de control de deformación, con una velocidad de 1 mm/min. Culminado el ensayo, reportó curvas de carga-desplazamiento para dichas muestras con 0,1% y 0,5% de F.A. De la misma forma [13], elaboró 2 muestras de concreto estándar según ACI 211.1, al efectuarse el ensayo de compresión del concreto mediante una prensa eléctrica, resultaron los parámetros contemplados por la norma ASTM C-39.

Respecto a los resultados, [11] argumenta que adicionar F.A. al concreto, es un gran potenciador de resistencia al impacto. Así dicha resistencia aumentó al incrementar el porcentaje de F.A.; sin embargo, este aumento se considera óptimo hasta un 3%. Luego sus propiedades mecánicas se ven afectadas, es decir que los autores optimizaron la dosificación con dicho agregado metálico. En este sentido [12] demostraron que a medida que se reemplazaba la arena por limaduras de hierro hasta en un 100% y 28 días de curación del concreto alcanzaban resistencias a la compresión de 43 N/mm², del mismo modo se observa oposición a la tracción dividida, que llegaba a alcanzar una resistencia de 3.76 N/mm². Cabe resaltar que la utilización de F. A. disminuye la abrasión en el concreto.

Por consiguiente, [13] determinaron que, si incrementamos el porcentaje de FA en el concreto, tiende a aumentar la porosidad, capacidad de absorción y capilaridad, permitiendo el escurrimiento libre del agua por sus poros, produciendo una curación del concreto más eficiente y por consiguiente una mayor resistencia a la compresión. En esa línea [16] con la comparativa de sus resultados y de los autores consultados, dieron con que los ensayos sobre flexión y tracción dividida a probetas de concreto con fibra de acero resultaron ser más aptos y con ello mejoraron el diseño del concreto reforzado.

También, [14] indicó que, a partir de la comparación de resultados, la carga última es alta en comparación con la carga primera. Finalmente se demuestra que alineando las F.A. con tan solo 0.8% se registra buena oposición a la compresión deseada, a diferencia del ejemplar que contiene F.A. dispersa, ya que es necesario un 50% para obtener una resistencia similar a la anterior. Así mismo [15] detalla que la tenacidad de fractura arrojó un aumento de 35% y la energía de fractura se elevó hasta en un 100% conllevando a la disminución de agrietamientos. Además, se observa la relación del volumen de F.A. y la de entalladura.

Por otro lado, los resultados de Edge Notch Disc Bend (ENDB), enfatizan que en el modo III al I la carga máxima disminuye, las dimensiones de los agregados y la cuantía de fibra altera la superficie de fractura, provocando disminución de la máxima carga. De igual modo, los efectos como consecuencia de los ensayos realizados por [16] demuestran que la F.A fortalecen en las cualidades mecánicas del concreto en un 21%, del mismo modo, aplicando la prueba comparativa mediante el método DUNNET, confirma una resistencia a la compresión de (0.05). Con lo expuesto, podemos ver que existe una tendencia a realizar ensayos de laboratorio para determinar y estimar con mayor exactitud la influencia de incluir fibras metálicas en el concreto. Así mismo se comprueba que dichas fibras incrementan su capacidad a la flexión, compresión y tracción dividida o indirecta, siempre que se logre una óptima dosificación para la mezcla del concreto. Del mismo modo que al alterar la proporción de los agregados y la configuración para la colocación de las F.A. dan como resultado un concreto, con menor trabajabilidad, más porosos y con mayor capilaridad que uno convencional,

siendo las dos últimas características mencionadas de gran ventaja para aplicaciones en los pavimentos rígidos. Con respecto a la investigación mencionada de [17], para el reforzamiento del concreto mediante la adición alineada de F.A., llegó a demostrar con un modelo analítico la diferencia significativa de efectividad entre la adición de fibras alineadas y las no alineadas en el concreto.

Con el mismo objetivo [18] complementó el análisis argumentando que con la simulación numérica se puede conocer la tenacidad a la fractura y su energía, observando la resistencia a ser agrietado. De igual manera [19] concluye en que es importante el tamaño del agregado nominal, puesto que la tenacidad a la fractura es muy buena cuando el diámetro del agregado es 12.5 mm, así mismo, demostró que la resistencia a la compresión se elevó 1,30% y 3,07% en relación con el concreto estándar de 380 kg/cm². Así mismo, aumentó la resistencia a la compresión de 3,11% y 6,77% en relación con el concreto estándar de 480 kg/cm².

III. METODOLOGIA

A. Método ACI 211

El análisis para llevarse a cabo se basa enteramente en las mediciones numéricas para evaluar la influencia de las fibras de acero en el concreto reforzado que se pretende emplear en un diseño de un pavimento rígido por medio del AASHTO-93, esto se logrará mediante un análisis estadístico de los resultados de ensayos fijados por el método ACI 211 a los componentes del concreto y su elaboración. Del mismo modo que empleará ensayos de laboratorio enfocados a la tecnología de concreto, que brindarán data importante del desempeño del concreto. Por ello para el presente estudio se estableció un enfoque cuantitativo, ya que para [20], [21] este tipo de estudios se encarga de reunir fuentes de información y analizar resultados de distintas investigaciones ordenadamente. Así mismo, las investigaciones de este tipo buscan cuantificar el problema propuesto y estimar la relación entre las variables y las conclusiones obtenidas. Lo cual permitirá que la investigación sea medible.

B. Diseño metodológico

En tal sentido la presente investigación, como se mencionó, posee un enfoque de tipo cuantitativo, debido a la característica medible de los objetivos que se desean alcanzar. También se considera de carácter no experimental, puesto que las variables de fibra de acero no serán modificadas. Así mismo, las variables serán analizadas en un tiempo fijo, no estarán en función a un periodo, es decir, una investigación transversal, siendo un concreto reforzado con fibras de acero (F.A.) y el diseño de pavimento rígido variables independientes y dependientes respectivamente. Además, estas guardan relación directa porque una influye notablemente

sobre otra, estableciendo un alcance de tipo correlacional. En ese marco, se determinará el diseño del concreto reforzado con

F.A. utilizando el método ACI 211, para un pavimento rígido en la vía tomada como muestra de investigación.

C. Muestra

En ese sentido, la muestra de esta investigación se concentra en las probetas de concreto reforzado con 1%, 2%, 3% y 4% de F.A.

D. Técnica

En primer lugar, se procederá con el diseño de mezcla mediante el método ACI 211.1, el cual nos brinda instrucciones y tablas según la características y condiciones de los agregados, con el que podemos determinar la proporción adecuada para la preparación de un concreto según sea la resistencia requerida, en este caso con un mínimo de 210 kg/cm² y con un valor de consistencia de 4 a 5 pulgadas según el ASTM C 143 2016 y NTP 339.035 2016, estas consisten en ensayar en los primeros cinco minutos al concreto fresco mediante una serie de varillados normalizados en 3 capas hasta llenar por completo un molde denominado cono de Abrams, al realizar el desmoldeo podremos apreciar y medir la consistencia del concreto recién preparado. Luego se realizará la elaboración de 36 probetas en moldes cilíndricos de diámetro de 4" y longitud de 8" (pulgadas) llenando a cada una en 2 capas mediante un varillaje de 25 veces, posteriormente las probetas se dejan reposar por un día para conducir las a la poza de curado, estas serán extraídas secuencialmente en 7, 14 y 28 días con el fin de someterlas a esfuerzos axiales mediante una prensa universal hasta lograr su fracturación o resistencia máxima del espécimen, a esto lo denominamos Ensayo de Compresión según la NTP 339.03. Dicho diseño y ensayos será aplicado para el concreto patrón para llevar el control y cuantificar la variación de resistencia y comportamiento comparado con el concreto reforzado con F.A. en porcentajes de 0.5%, 1%, 2%, 3% y 4% del peso de cada probeta.

Finalmente, los resultados de resistencia serán utilizados en el diseño del pavimento rígido mediante el AASHTO-93.

E. Instrumento

En este estudio se emplearán herramientas que respalden las técnicas mencionadas, estas serán: Fichas de observación documental que servirán para anotar en conjunto los datos obtenidos en ensayos para evaluar los agregados previos al diseño del concreto, así mismo en los ensayos de Slump y compresión. Estas fichas nos serán de gran ayuda para el análisis de resultados, pues brindarán información detallada y organizada de lo observado en el comportamiento de probetas ante esfuerzos a los que serán sometidos. Además, se utilizará el uso de tablas específicas para el registro de cada ensayo, software de cálculo Ecuación AASHTO 93, hojas de cálculo mediante software MS Excel para procesar datos, también de normas del ACI 211, ASTM Y NTP concernientes al presente tema como base de la buena práctica de esta investigación.

IV. RESULTADOS

A. Características de material

- Cemento: Cemento Sol Portland tipo I (ASTM C015/C150M-22)
- Agua: Agua Potable
- Fibra de acero: Fibra de acero 3D DRAMIX 80/60 BG.
- aditivo metálico para reforzar concreto, que cumple con las normas técnicas ASTM A820, EN 14889-1 e ISO 13270 clase A.
- Agregados grueso y fino.

TABLE I
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Características	Agregado Fino	Agregado Grueso	Und
Tamaño máximo nominal	1"	#4	
% Gravas	100	3	%
% Arenas	0	96.8	%
% Finos	0	0	%
Peso Especifico	2.62	2.88	g/cm ³
Peso unitario suelto	1577	1409	Kg/m ³
Peso unitario compactado	1803	1592	Kg/m ³
Humedad Natural	1.2	0.2	%
Humedad de absorcion	0.84	0.26	%
Modulo de finura	3.1	7.94	
% que pasa malla ° 200	0.4	0	

Para material aglutinante que se eligió para el diseño de mezcla, se utilizó cemento sol Portland Tipo 1, sus propiedades físicas y mecánicas podremos apreciarlo en su ficha técnica emitida por el fabricante.

Las propiedades física y mecánicas de los agregados se obtuvieron mediante los ensayos de granulometría, peso unitario, humedad natural, humedad de absorción y gravedad específica para agregado grueso y fino, y el porcentaje que pasa por la malla #200. Cabe resaltar que estos datos se obtuvieron del muestreo de todo el agregado en disposición para el diseño de mezcla.

Cuando ensayamos los componentes del concreto obtenemos datos que deben estar dentro de las tolerancias indicadas según norma para seguir con los lineamientos de diseño establecidos. A continuación, veremos un cuadro con lo mencionado.

B. Dosificación para Concreto Convencional y Experimental

Para los dos tipos de mezcla se realizó un único diseño de mezcla de concreto para una resistencia de 210kg/cm² utilizando los elementos mencionados.

Diseño de mezcla patrón a través del procedimiento ACI 211. Para la mezcla patrón se siguió todos los pasos según el criterio de diseño de la norma ACI 211.1 proyectando una resistencia de 210kg/cm², el mismo que fue considerado en el diseño y construcción del pavimento del centro poblado de Tinta. Dicha mezcla no cuenta con ningún tipo de aditivo y los ensayos de resistencia a la compresión se realizaron en 3

muestras a los 7 y 28 días de curado. A continuación, se muestra el resultado de la dosificación que se obtuvo con el método mencionado para 1 m³ y 1kg de cemento.

TABLE II
PROPORCION PARA 1M³ DE CONCRETO Y 1 KG DE CEMENTO

Proporciones para concreto 1m ³			
Cemento (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (L)
367.38	747.86	10.37.3	232.23
Proporciones para concreto 1 kg de cemento			
1.0	2.04	2.82	2.44

Elaboracion propia

Para material aglutinante que se eligió para el diseño de mezcla, se utilizó cemento sol Portland Tipo 1, sus propiedades físicas y mecánicas podremos apreciarlo en su ficha técnica emitida por el fabricante.

Una vez realizada la proporción mostrada en la tabla III, se dispuso a definir dosificación del concreto para un volumen de 8 probetas de 100 mm de diámetro y 200 mm de altura. Es decir 1.57x10⁻³ m³, el cual se muestra a continuación.

TABLE III
DOSIFICACION PARA 1.57X10⁻³ M³ DE CONCRETO

Mezcla patron		
f _{cr}	210	kg/cm ²
Cemento	5.19	kg
Agua	3.35	L
Ag. Grueso	14	kg
Ag. Fino	10.57	kg

C. Diseño de la mezcla a experimentar a través del método ACI 211.1 integrando fibras de acero.

Para el siguiente ensayo se proyectó una mezcla de concreto con resistencia a la compresión de 210 kg/cm², añadiendo la fibra de acero en 1%, 2%, 3%, 4%, respecto al peso del cemento en la mezcla para dicho volumen por las probetas a usar. Los cuales también se evaluarán su resistencia a la compresión en las mismas edades que el concreto patrón.

TABLE IV
DOSIFICACION INTEGRADO FIBRAS DE ACERO PARA LA PROBETA DE 1.57X10⁻³ M³ DE CONCRETO

Mezcla con adición de fibras de acero			
f _{cr}	210	kg/cm ²	
Cemento	5.19	kg	
Agua	3.35	L	
Ag. Grueso	14	kg	
Ag. Fino	10.57	kg	
Fibra de acero (1%)	0.052	kg	1%
Fibra de acero (2%)	0.104	kg	2%
Fibra de acero (3%)	0.156	kg	3%
Fibra de acero (4%)	0.208	kg	4%

Elaboracion propia

D. Resultados de los Ensayos de concreto

Para ello se valoraron las cualidades de la mezcla, así como de la mezcla patrón y las que integramos fibras de acero, realizándose las medidas de asentamiento como la de temperatura respetando lo exigido por la norma CE.010 PAVIMENTO URBANOS, a continuación, se proporciona los valores promedio de lo registrado.

TABLA V
RESULTADO DEL CONCRETO FRESCO

Ensayos del concreto en estado fresco			
	Sin fibra de acero	Con fibra de acero	
Temperatura	24	23	°C
Slump	4	3.5	”
Aire	-	-	

Elaboración propia

Con respecto al slump se aprecia una disminución en el asentamiento de 0.5 pulgadas al adicionar fibra de acero el cual es despreciable estimando que su aplicación se caracteriza por ser un vaciado sobre una superficie horizontal tal como lo es un pavimento rígido.

TABLA VI
TABULACIÓN DE RESULTADOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

Ensayo de Resistencia a la Compresión							
		7 días			28 días		
Concreto	Muestra	Diametro promedio	Altura promedio	Resistencia compresión (kg/cm ²)	Diametro promedio	Altura promedio	Resistencia compresión (kg/cm ²)
Concreto patrón	1	97.2	206.3	247	97.2	207.4	294
	2	97.4	209.7	235	97.4	206.8	276
	3	100.25	206.5	220	100.2	208.7	297
1% FA	1	100.7	203.6	265	100.9	203.5	322
	2	100.8	203.4	260	100.8	203.3	335
	3	100.8	205.4	275	100.8	205.3	330
2% FA	1	100.9	204.2	265	100.9	204.1	350
	2	100.8	203.1	260	100.8	203.5	337
	3	100.8	204.5	275	100.8	204.6	347
3% FA	1	101.2	203.9	298	101.2	203.8	405
	2	101.1	203.5	282	101.1	203.2	389
	3	101.0	204.1	301	101.0	204.3	397
4% FA	1	100.9	202.1	274	100.9	202.1	360
	2	101.2	204.5	269	101.2	204.5	350
	3	101.2	203.2	253	101.2	203.2	345

Elaboración propia

E. Análisis Estadístico de resultados

Análisis estadístico del concreto sin adición de fibras de acero.

El análisis estadístico se elaboró usando los resultados registrados en el ensayo de resistencia a la compresión los cuales se muestra a continuación con su respectiva interpretación.

De la figura I se puede ver claramente que un concreto reforzado con adición de 3% de fibras de acero logra un mayor valor con comparación con el concreto patrón y con las demás concentraciones de fibras de acero. Por el cual se determina que el porcentaje óptimo para reforzar un concreto con fines de aplicarlo en un pavimento rígido, es con un 3 % de fibras

de acero alcanzando una capacidad de resistencia a la compresión de 397 kg/cm². Por lo tanto, dicho valor supera notablemente a la resistencia requerida y puede ser usado en el diseño del pavimento rígido en el centro poblado de Tinta

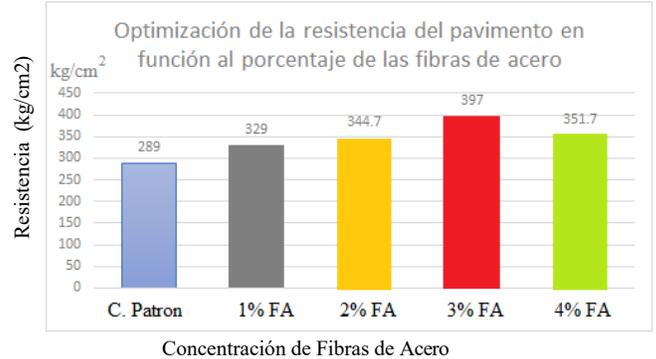


Fig. 1 Resistencia a la compresión con el porcentaje óptimo de fibras de acero.

F. Diseño de pavimento rígido según la norma AASHTO 93

Para el diseño del pavimento se consideran una serie de valores, propios de las características y condiciones del terreno, así como el tipo y grado de servicio que se le dará a dicha construcción horizontal. Dicho sea de paso, ya se encuentran calculados en el expediente técnico de mejoramiento del servicio de tránsito vehicular y peatonal de las calles del centro poblado de Tinta-Oyón-Lima. Los cuales será usados mediante la Formula General AASHTO. El cual se verá en la ecuación (1).

$$\log_{10} W_{92} = Z_r S_0 + 7.35 \log_{10}(D + 25.4) - 10.39 + \frac{\log_{10}\left(\frac{SPSI}{(1.5)(1.5)}\right)}{1 + \left(\frac{SPSI}{(1.5)(1.5)}\right)^{0.45}} + (4.22 - 0.32P_r) \times \log_{10}\left(\frac{M_r C_{fs}(0.09 D^{0.75} - 1.132)}{1.513 \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(D)^{0.75}}\right)}\right) \quad (1)$$

TABLA VII
DATOS DE DISEÑO DE PAVIMENTO CON LOS SC Y EC ACTUALIZADOS
DATOS DEL ENSAYO A COMPRESIÓN

Datos de diseño		
Trafico (ESAL)	455868.252
Indice de serviciabilidad inicial (Po)	4.5
Indice de serviciabilidad final (Pt)	2
Modulo de ruptura (Sc)	637.59	Psi
Modulo de elasticidad (S _c)	4250971.58	Psi
Resistencia de la subrasante (K)	54.4259	MPa/m
Coefficiente de transferencia de carga (J)	4.2
Coefficiente de drenaje (Cd)	1.05
Nivel de confiabilidad (R)	50
Desviación estándar normal (Z _r)	1.28
Error estándar combinado (So)	0.35

Elaboración propia

Software-Ecuación AASHTO 93

Fig. 1 Cálculo del espesor del pavimento usando el software de AASHTO93.

Con los datos de nuestro estudio de caso poblado de tinta en Oyón-Perú y para el concreto óptimo de 3% de Fibras de Acero (F.A.), lo que representa un espesor de losa de pavimento de 6.1 pulgadas es decir 15.50 cm, disminuyendo en 4.50 cm del diseño original (20.00 cm), eso significa que se redujo un 22.5% respecto al espesor inicial

V. CONCLUSIONES

La proporción óptima para un concreto reforzado mediante el método ACI 211.1 según el diseño del concreto 210 kg/cm² e integrando el porcentaje óptimo de fibras de acero para 1m³ se daría de la siguiente manera: cemento 367.38 kg, agregado fino 747.56 kg, agregado grueso 1037.3 kg, agua 232.23 litros y fibras de acero 11.1 kg el cual es el 3% del peso del cemento. Cabe resaltar que la relación agua/cemento es de 0.65 y los agregados fueron usados los vendidos en la zona norte de Lima.

En el cálculo del espesor hallado para la losa del pavimento construido en el centro poblado de Tinta (provincia de Oyón) fue diseñado inicialmente de 20 cm con un concreto de 210 kg/cm². Entonces, frente a ello se usó el concreto reforzado que alcanzó 397 kg/cm² en promedio en la ecuación general AASHTO 93 que dio como resultado espesor de 15.4 cm de espesor, eso prueba que el concreto reforzado podría tener un buen desempeño con dicho espesor, además que es el mínimo establecido por la NORMA TÉCNICA CE. 010 PAVIMENTOS URBANOS

En efecto, y cumpliendo con uno de los objetivos de la investigación se logró un espesor menor a lo previsto reduciéndose en 25%, ello sucede puesto que al añadir fibra de acero mejora la resistencia a la compresión.

Las propiedades de los agregados son las apropiadas para el diseño de la mezcla, cumpliendo la NTP 400.012. para agregado fino.

- En efecto, y cumpliendo con uno de los objetivos de la investigación se logró un espesor menor a lo previsto reduciéndose en 25%, ello sucede puesto que al añadir fibra de acero mejora la resistencia a la compresión

- Las propiedades de los agregados son las apropiadas para el diseño de la mezcla, cumpliendo la NTP 400.012. para agregado fino.

VI. RECOMENDACIONES

- En base a los datos encontrados, se recomienda usar un concreto reforzado elaborado con un cemento portland tipo I y un porcentaje añadido de 3% de fibras de acero, con ello se logrará una resistencia muy similar a los 397 kg/cm², el cual podrá usarse en la construcción de pavimentos rígidos disminuyendo su espesor y costo al reducir la cantidad de material.

- La trabajabilidad del concreto reforzado disminuyó levemente según los porcentajes adicionados al concreto, por lo que consideramos pertinente recomendar su aplicación en pavimentos rígidos y en otras infraestructuras parecidas, ya que su fluidez del concreto no será un problema.

- En el proceso de elaboración de probetas de concreto para fines de investigación se recomienda realizar uno o dos probetas adicionales por tipo de muestra, esto se debe a que, en el ensayo de resistencia a la compresión, algunas probetas resultan estar defectuosas, lo cual influye en los resultados que normalmente se esperarían de los especímenes ensayados.

REFERENCES

- [1] Abadel, A., Abbas, H., Alrshoudi, F., Altheeb, A., Albidah, A., & Almusallam, T. Experimental and analytical investigation of fiber alignment on fracture properties of concrete. *Structures*, 2020, 28, 2572–2581. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.10.077>
- [2] Arroyo, J, Cabrera, F, Chávez, G, López, C, Cabrera, D, y Yáñez, A. Determinación de cantidad óptima de Fibra de Acero para la elaboración de Hormigón de Cemento Portland para losas de Pavimentos Rígidos. *Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, 2019, Education, and Technology: Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities*.
- [3] Garg, H. . Durability of concrete made with steel filings as a replacement of fine aggregate. *Materials Today: Proceedings*, 49, 3217– 3221, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.146>
- [4] Grzyski, F., Musiał, M., & Trapko, T. Mechanical properties of fibre reinforced concrete with recycled fibres. *Construction and Building Materials*, 198, 323–331. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.183>
- [5] Inga Campos, M., Santamaría Albuja, D.B., y Muñoz Pérez, S.P. Elaboration of a self-compacting concrete with drawn steel fiber. *Dyna*, 89 (224), 113–122, 2022, <https://doi.org/10.15446/dyna.v89n224.104008>
- [6] Le, A-T, y Le Hoang, A. Comparisons of flexural, split tensile, double punch, and direct tension tests on high-performance concrete reinforced with different fiber types. *Case Studies in Construction Materials*. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02413>
- [7] X. Qin, X. Huang, Y. Li, and S. Kaewunruen, “Sustainable design framework for enhancing shear capacity in beams using recycled steel fiber-reinforced high-strength concrete,” *Constr Build Mater*, vol. 411, Jan. 2024, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2023.134509.
- [8] T. Alomayri et al., “The influence of coconut fibres and ground steel slag on strength and durability properties of recycled aggregate concrete: sustainable design of fibre reinforced concrete,” *Journal of Materials*

- Research and Technology, vol. 24, pp. 10027–10039, May 2023, doi: 10.1016/j.jmrt.2023.05.212.
- [9] I. Hussain, B. Ali, T. Akhtar, M. S. Jameel, and S. S. Raza, “Comparison of mechanical properties of concrete and design thickness of pavement with different types of fiber-reinforcements (steel, glass, and polypropylene).” *Case Studies in Construction Materials*, vol. 13, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.cscm.2020.e00429.
- [10] X. Qin, X. Huang, and S. Kaewunruen, “Sustainable design and carbon-credited application framework of recycled steel fibre reinforced concrete,” *Developments in the Built Environment*, vol. 18, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.dibe.2024.100404.
- [11] Mármol, P. *Hormigones con Fibras de acero Características Mecánicas*. Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, España. 2010, Obtenido de oai:oa.upm.es:4510.
- [12] Montalvo, N. *Pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus pavimentos tradicionales*, Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015, <http://hdl.handle.net/20.500.12404/6117>
- [13] Mousavi, S, Ghasemi, M, & Dehghani, M. Investigating the fracture toughness of the self-compacting concrete using ENDB samples by changing the aggregate size and percent of steel fiber. *Engineering Solid Mechanics*, 12(1), 17–26. 2024, <https://doi.org/10.5267/j.esm.2023.7.006>
- [14] NTP 339.088. *Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland*, Requisitos. 2006, Lima: INDECOPI.
- [15] Qing, L., Zhang, H., Niu, C., Mu, R., & Li, M. Preparation and fracture behavior of annularly aligned steel fiber reinforced cementitious composite: Experiment and simulation. *Journal of Building Engineering*. 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2023.106019>
- [16] Samson, S., Geetha, A. y Rajjumar, M. Behaviour of micro reinforced concrete with hooked end steel fibres subjected to impact loads. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(3). 2019, <https://doi.org/10.35940/ijrte.c5076.098319>
- [17] Satyaprakash Helmand, P., & Saini, S. Mechanical properties of concrete in presence of Iron filings as complete replacement of fine aggregates. *Materials Today: Proceedings*, 15, 536–545. 2019, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.04.118>
- [18] Sotil, A. & Zegarra, J. 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 Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. 2015, <http://hdl.handle.net/10757/581616>
- [19] Asadi Shamsabadi, S. Mohammadzadeh Chianeh, P. Zandifaez, and D. Dias-da-Costa, “Multi-target machine learning-assisted design of sustainable steel fibre-reinforced concrete,” *Structures*, vol. 71, Jan. 2025, doi: 10.1016/j.istruc.2024.108036.
- [20] ASTM C 270: Mortero para mampostería unitaria. Filadelfia
- [21] Sociedad Americana de Pruebas y Materiales ASTM C 136: Método de Ensayo Normalizado para la Determinación Granulométrica de Agregados Finos y Gruesos. 2006.