

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

En el campo de la infraestructura vial cada vez se va desarrollando la necesidad de nuevas alternativas, respecto al diseño y desarrollo de estructuras durables y eficientes desde el punto de vista económico y funcional, con un nivel de servicio y un comportamiento que sea capaz de soportar el incremento constante del parque automotor, el transporte masivo de personas y el transporte de carga.

Para lograr estas metas, y sobre todo, que se vean reflejadas en resultados cada vez más eficientes y funcionales, se hace necesario recurrir a la esencia misma de las estructuras, lo que en otras palabras, significa lograr mayores niveles de mejora en la composición de los materiales que se emplean para tal fin, por lo cual en el caso del hormigón se ha venido utilizando el reforzamiento con fibras de acero.

La utilización de concretos reforzados con fibras de acero, es una tecnología reciente en el departamento de Tarija, la cual no ha sido plenamente aprovechada; debido a que es primitivo el estudio acerca de la profundidad y alcance de sus beneficios en los pavimentos rígidos.

Entonces, dada la poca utilización de esta clase de tecnología en el país, se vuelve importante realizar un estudio en mayor detalle, acerca de los parámetros de medida de las propiedades físicas, mecánicas y económicas de acuerdo al desempeño de esta clase de hormigón reforzado con fibras de acero.

Con base en las razones expuestas, el presente trabajo se propone, entre otros objetivos, analizar mediante la aplicación de ensayos establecidos por norma las propiedades

mecánicas de un hormigón convencional y un hormigón reforzado con fibras de acero para el uso de pavimentos rígidos; también realizar un análisis de espesores de losa de pavimentos y costos de estos dos tipos de pavimentos rígidos.

Los beneficios del uso de estas fibras de acero en los pavimentos rígidos se podrían ver reflejados, en el desarrollo de estructuras más durables, funcionales y más rentables.

1.2. DISEÑO TEÓRICO

1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA

Es de conocimiento que en la Ciudad de Tarija la mayoría de las vías son de pavimento flexible, debido a que en comparación con el pavimento rígido es menor el tiempo de ejecución y de costo, éstos son factores que determinan la aplicación del pavimento flexible.

Sin embargo el pavimento flexible a diferencia del pavimento rígido requiere un mantenimiento en un lapso de menor tiempo, lo que implica un mayor costo a largo plazo. El pavimento rígido es más durable por lo que se buscan nuevas técnicas para emplearlo reduciendo su costo.

Lo que se pretende realizar con este trabajo es el de dar mayor utilización del pavimento rígido con la utilización de las fibras de acero, por esta razón se encuentra la cuestionante de qué ventajas ofrece este material (fibras de acero) y si en efecto con la utilización de este material existe una reducción de costo.

1.2.2. OBJETIVOS

1.2.2.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar y comparar el comportamiento de las propiedades mecánicas, el espesor de losa y los costos en un pavimento convencional y un pavimento reforzado con fibras de acero, lo cual permita evaluar las ventajas y desventajas de la utilización de las fibras de acero.

1.2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar la información que sea necesaria sobre las fibras de acero, para tener un conocimiento más profundo de este material.
- Determinar mediante pruebas de laboratorio las propiedades de trabajabilidad y resistencia de un pavimento convencional y un pavimento reforzado con fibras de acero.
- Diseñar los espesores de carpeta para un pavimento rígido, elaborado con un hormigón convencional y con un hormigón reforzado con fibras de acero.
- Determinar el costo de un pavimento convencional y un pavimento reforzado con fibras de acero.
- Analizar y comparar las propiedades de trabajabilidad y resistencia a flexotracción de un pavimento convencional y un pavimento reforzado.
- Analizar y comparar el espesor de losa de un pavimento convencional y un pavimento reforzado.
- Analizar y comparar el costo del pavimento convencional y el pavimento reforzado.
- Demostrar las ventajas y desventajas que tiene el uso de las fibras de acero en pavimentos rígidos.

1.2.3. HIPÓTESIS

Si se realizan pruebas en el laboratorio para determinar las propiedades mecánicas del pavimento convencional y el pavimento reforzado con fibras de acero, entonces se podrá analizar y verificar las ventajas que ofrece la inclusión de estas en el pavimento rígido, como ser aumento de la resistencia a flexotracción y la reducción del espesor de losa del pavimento, con la necesidad de menor mantenimiento y con un menor costo.

1.2.4. DEFINICIÓN DE VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES

1.2.4.1. VARIABLES

✓ INDEPENDIENTES

- Propiedades mecánicas del hormigón del pavimento convencional.
- Propiedades mecánicas del hormigón del pavimento reforzado con fibras de acero.

✓ DEPENDIENTES

- Análisis técnico y económico del hormigón del pavimento reforzado con fibras de acero en comparación con el hormigón convencional para pavimento rígido.

1.2.4.2. OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

✓ VARIABLE INDEPENDIENTE

Variable nominal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor acción Técnicas a usar
Propiedades mecánicas del hormigón pavimento convencional	Se refiere a elaborar distintas pruebas de laboratorio, que permite obtener valores de las diferentes propiedades mecánicas	Pavimento Rígido Convencional	Espesor de Carpeta	Diseño de la carpeta según Norma
			Dosificación	Agregados
				Tipo de Cemento
			Resistencia A Flexo-tracción	Ensayos en probetas prismáticas de Flexo-tracción
Trabajabilidad	Ensayo del cono de Abrams			
Propiedades mecánicas del hormigón pavimento reforzado con fibras de acero	Se refiere a elaborar distintas pruebas de laboratorio, que permite obtener valores de las diferentes propiedades mecánicas	Pavimento Rígido reforzado con Fibras de Acero.	Espesor de Carpeta	Diseño de la carpeta según Norma.
			Dosificación	Agregados
				Tipo de Cemento
				Selección de las fibras de acero
Resistencia a Flexo-tracción	Ensayos en probetas prismáticas de flexo-tracción			
Trabajabilidad	Ensayo del cono de Abrams			

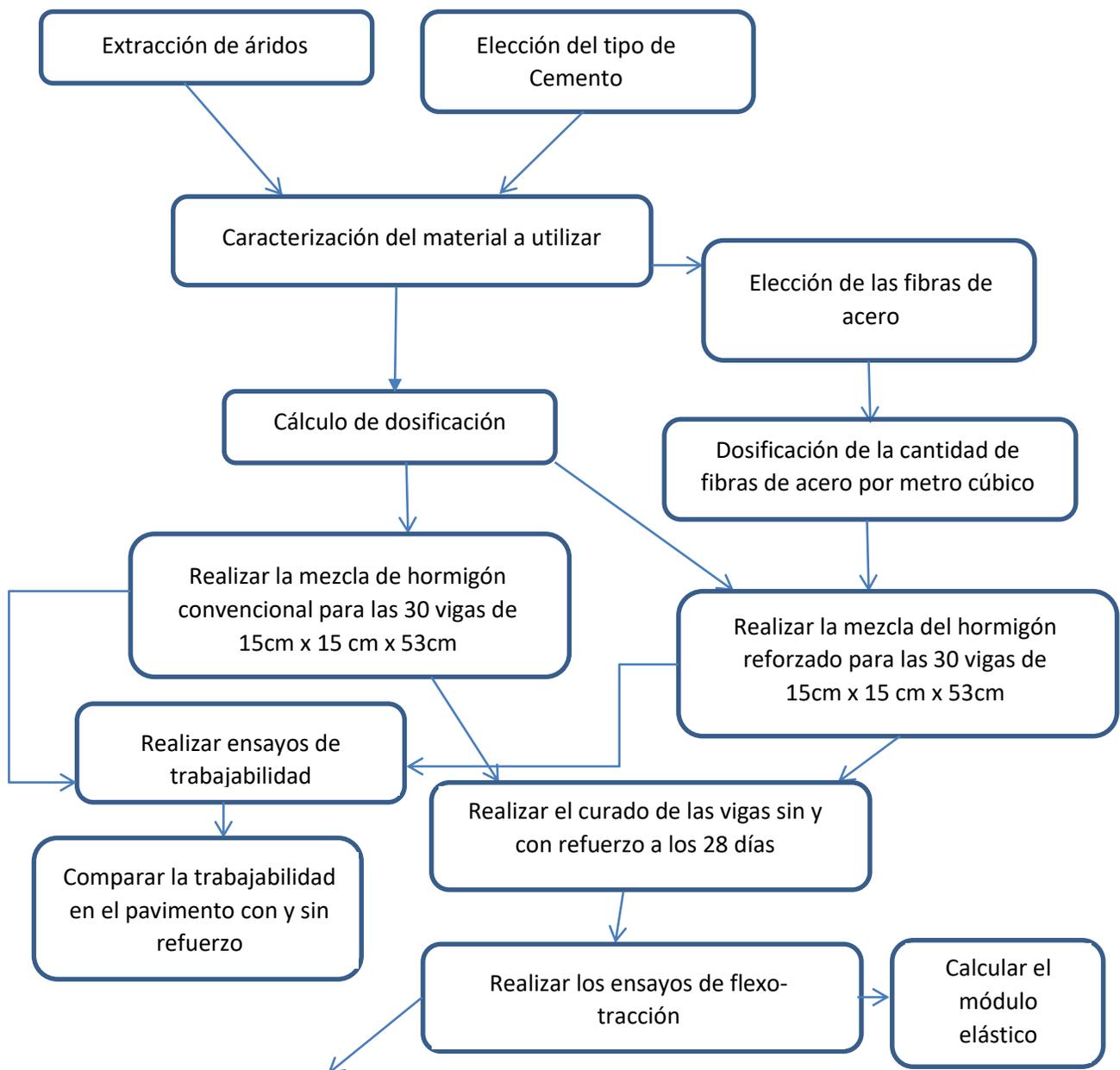
✓ **VARIABLE DEPENDIENTE**

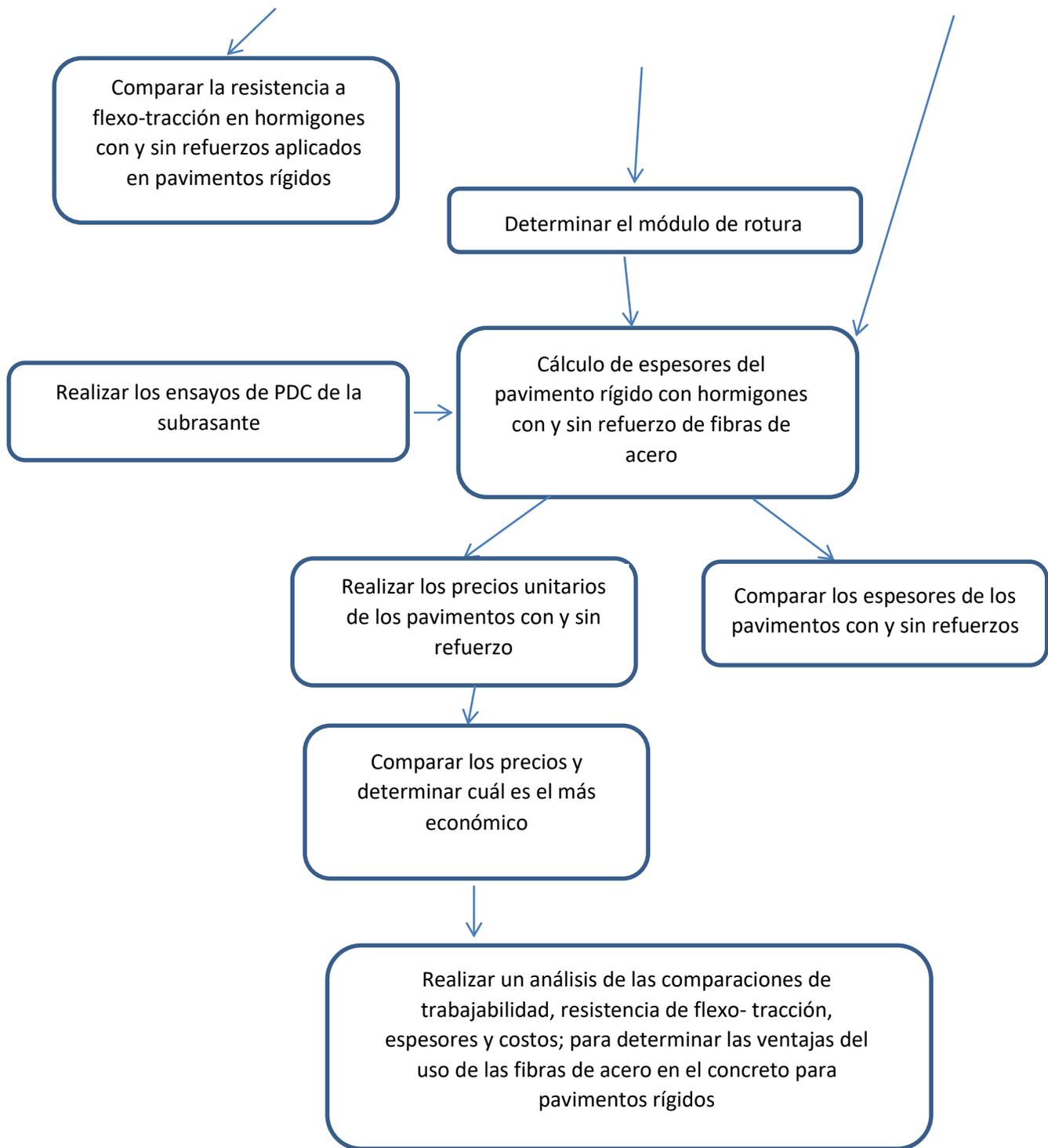
Variable nominal	Conceptualización	Dimensión	Indicador	Valor acción Técnicas a usar
Análisis técnico y económico del hormigón del pavimento reforzado con fibras de acero en comparación con el hormigón convencional para pavimento rígido.	Se refiere a realizar un análisis de la comparación de propiedades mecánicas y económica	Análisis y comparación	Costo	Análisis y comparación de precios unitarios
			Resistencia a flexotracción	Análisis y comparación de los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio a flexotracción
			Trabajabilidad	Análisis y comparación de los ensayos del cono de Abrams
			Espesor de carpeta	Análisis y comparación de los espesores de losa de pavimentos

1.3. DISEÑO METODOLÓGICO

En esta sección se explica la metodología a seguir para desarrollar este proyecto, con este fin, se establecen parámetros fijos que permitan desarrollar el procedimiento experimental de una buena manera y se pueda realizar un buen análisis al comparar los resultados obtenidos.

1.3.1 DETERMINACIÓN DE LINEAMIENTOS A SEGUIR





1.3.2 COMPONENTES

1.3.2.1. UNIDAD DE ESTUDIO

La finalidad del trabajo de investigación es el de analizar la influencia de las fibras de acero en el pavimento rígido, por tal motivo, la unidad de estudio corresponde a:

- ✓ Propiedades mecánicas y económicas de un pavimento convencional
- ✓ Propiedades mecánicas y económicas de un pavimento reforzado con fibras de acero.

1.3.2.2. POBLACIÓN

Propiedades del Pavimento Convencional



Propiedades del Pavimento Reforzado



1.3.2.3. MUESTRA

Como el presente trabajo se realizara para realizar la comparación entre pavimento convencional y reforzado con fibras de acero el tamaño de la muestra será aplicado:

- ✓ Resistencia a flexo-tracción y ensayos de trabajabilidad
- ✓ El diseño del espesor del pavimento convencional y reforzado
- ✓ Análisis de precios unitarios del pavimento convencional y reforzado

1.3.3. ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

Por medio de este trabajo se busca realizar una comparación entre el pavimento convencional y el pavimento reforzado con fibras de acero, teniendo en cuenta una misma dosificación siguiendo la norma ACI, considerando la misma resistencia a compresión de 350 kg/cm², obteniendo mediante ensayos la resistencia de flexotracción y trabajabilidad, diseñando los espesores de la carpeta del pavimento rígido con la norma AASHTO y determinando los costos del pavimento convencional y reforzado, para poder establecer parámetros de comparación.

Se busca evaluar técnicamente y económicamente el pavimento convencional y el pavimento reforzado con fibras de acero, para concluir que el uso de las fibras de acero en los pavimentos rígidos se puede ver reflejado en estructuras más durables y con la necesidad de menos mantenimiento.

CAPÍTULO II

Capítulo II

ANTECEDENTES TEÓRICOS

2.1. INTRODUCCIÓN A LAS FIBRAS DE ACERO

Antiguamente, las fibras fueron utilizadas para reforzar materiales frágiles, por ejemplo, la paja fue empleada para reforzar ladrillos cocidos al sol, el pelo de caballo era utilizado para reforzar mampostería de mortero y yeso. Muchas de las casas de pueblos, construidas alrededor de 1540, que aún existen, fueron ejecutadas con adobes reforzados con paja cocidos al sol, actualmente se construyen viviendas de interés social con estos adobes.

Recientemente, en gran escala comercial, se emplean fibras de asbestos en matrices de pasta de cemento mediante el procedimiento inventado por Hatschek en 1898. Estos productos de asbestos – cemento son extensivamente usados en la mayor parte del mundo, sin embargo, por los riesgos de salud asociados con las fibras de asbestos, se introdujeron otros tipos de fibra alrededor de los años sesenta y setenta.

A nivel mundial, las primeras sugerencias en el sentido de que las propiedades del concreto podrían mejorarse con la adición de fibras de acero fueron hechas por Porter (1910) y Ficklen (1914) en el Reino Unido, pero no es sino hasta 1963 en que pone en evidencia la función en el concreto de las fibras metálicas como elementos inhibidores del agrietamiento.

Las construcciones de losas apoyadas sobre el suelo que representa una de las principales aplicaciones del concreto reforzado con fibras metálicas, las mismas que se pueden adoptar en conjunto con el concreto, ya que de esta manera se forma este nuevo material con características metálicas adicionales. Esta nueva responsabilidad estructural que no es considerada en el diseño convencional de este tipo de elementos. En estas estructuras, las fibras pueden sustituir el refuerzo convencional sea por retracción como por capacidad a flexión (barras y/o malla electro soldadas) con

significativas ventajas en términos de tenacidad y esfuerzo bajo cargas estáticas y dinámicas.

Además, las fibras pueden reducir la fisuración debido a los efectos de retracción o temperatura. El uso de las mismas como refuerzo, es económicamente conveniente con respecto al refuerzo convencional, por disminuir las labores de colocación y tiempo de verificación de la correcta disposición del refuerzo, así como, rendimiento en avances de obra.

En la actualidad, de entre estas aplicaciones, la de construcción de pavimentos y revestimientos de túneles con hormigón reforzado con fibras de acero han tenido gran éxito. También cabe destacar su aplicación en el ámbito militar, utilizándose en pavimentación de carros de combate, hangares y recintos protegidos frente al impacto de metralla o proyectiles.

2.2. CLASIFICACIÓN SEGÚN SUS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS, QUÍMICAS, MECÁNICAS Y EL PROCESO PRODUCTIVO

La fibra de acero es un producto caracterizado geoméricamente por una dimensión longitud predominante respecto a las demás, con superficie pareja o trabajada empleada como refuerzo en el conglomerado del hormigón, de forma rectilínea o doblada, para poder ser dispersada de forma homogénea en la masa, sin alterar las características geométricas.

Básicamente, la fibra es caracterizada geoméricamente por la longitud (L), por la forma y por su diámetro o diámetro equivalente (De).

De la relación entre longitud (L) y el diámetro o diámetro equivalente (De) se obtiene la relación de aspecto, ($l=L/De$).

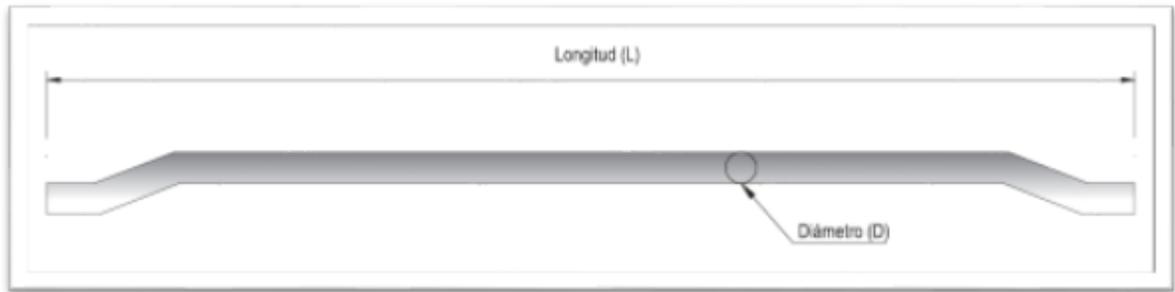


Figura 2.1. Ejemplo de fibra metálica con anclaje en las extremidades
Fuente: Maccaferri

Axialmente, la forma puede ser rectilínea o perfilada, transversalmente; la fibra puede tener sección circular, rectangular o variada (Figura 2.2 y 2.3).

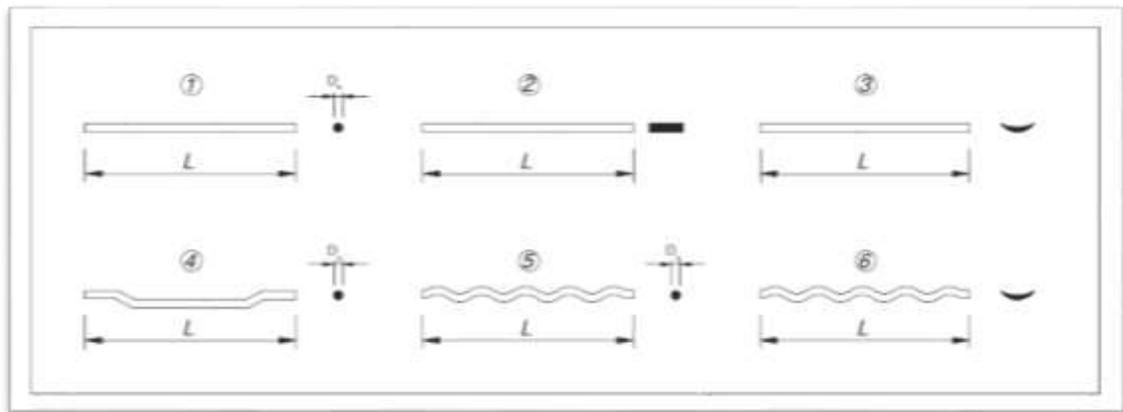


Figura 2.2. Ejemplo de diferentes formas de fibras metálicas
Fuente: Maccaferri

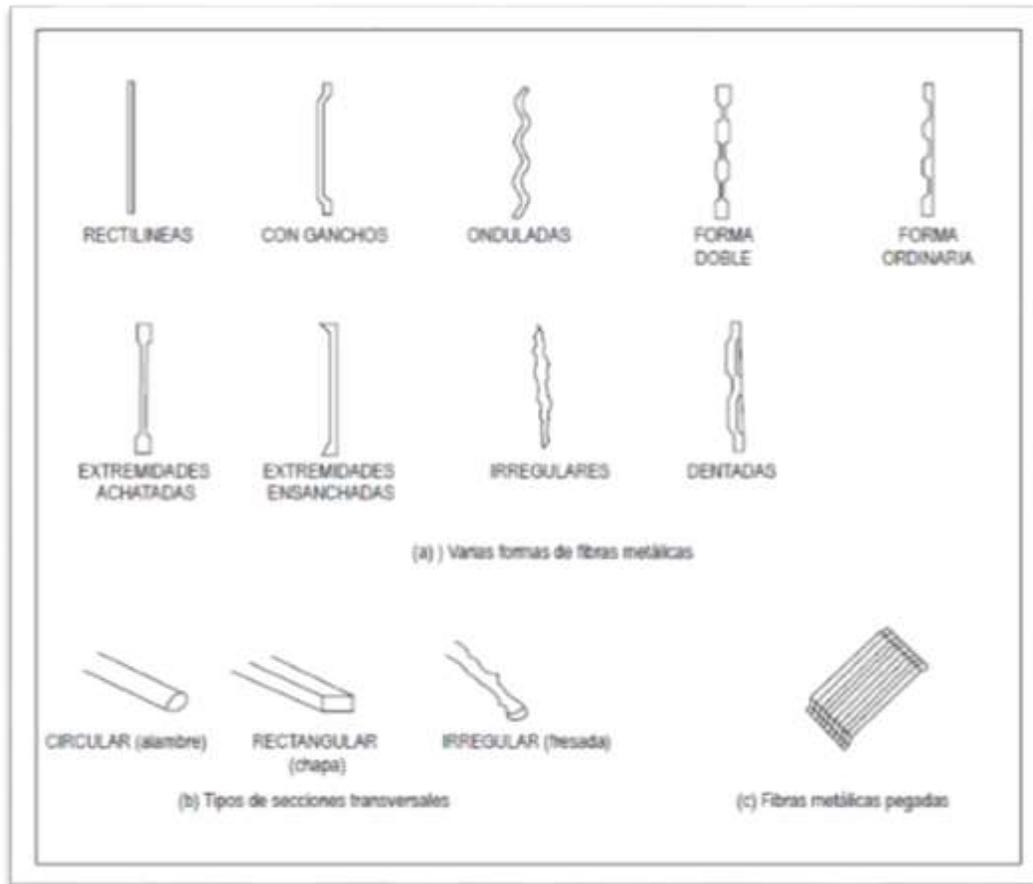


Figura 2.3. Ejemplo de fibras de diferentes formas

Fuente: Maccaferri

La clasificación de la fibra es correlacionada con su composición química:

A Fibras de alambre trefilado			B Fibras de chapa cortada			C Otras fabricaciones		
A1 Bajo contenido de carbono	A2 Alto contenido de carbono	A3 Inox	B1 Bajo contenido de carbono	B2 Alto contenido de carbono	B3 Inox	C1 Bajo contenido de carbono	C2 Alto contenido de carbono	C3 Inox

Tabla 2.1. Clasificación de las fibras en función de la composición química

Fuente: Maccaferri

Las fibras pueden tener un revestimiento superficial de zinc con la finalidad de garantizar su durabilidad en caso de aplicaciones en ambientes especialmente agresivos.

La resistencia a tracción (N/mm² o MPa) de la fibra se calcula dividiendo el esfuerzo necesario a la rotura por el área de la sección de la fibra o del alambre semi acabado. En la norma italiana, la resistencia a tracción está dividida en tres clases, R1, R2 y R3. Cada una de estas clases viene subdividida interiormente según la resistencia a tracción que sea referida:

1- Fibras rectilíneas, y en este caso no hay diferencia haber testado la fibra o el alambre semi acabado.

2 - Fibras perfiladas, en este caso la resistencia es mayor, en igualdad de clase, presumiendo que el proceso de perfilado reduzca la resistencia. La clasificación de resistencia tiene en cuenta el diámetro de la fibra: para diámetros gradualmente más pequeños corresponden clases de resistencia crecientes.

Diámetro equivalente (mm)	Resistencia a la tracción (N/mm ²)												Prueba de resistencia a la tracción
	R 1				R 2				R 3				
	1)		2)		1)		2)		1)		2)		
	Rm	Rp _{1,2}	Rm	Rp _{1,2}	Rm	Rp _{1,2}	Rm	Rp _{1,2}	Rm	Rp _{1,2}	Rm	Rp _{1,2}	Resistencia a la tracción
0,15 ≤ de < 0,50	400	320	480	400	900	720	1,080	900	1,700	1,360	2,040	1,700	
0,50 ≤ de < 0,80	350	280	450	350	800	640	1,040	800	1,550	1,240	2,015	1,550	
0,80 ≤ de ≤ 1,20	300	240	390	300	700	560	910	700	1,400	1,120	1,820	1,400	

NOTA: Las propiedades mecánicas indicadas en el presente tabla se refieren a todos los tipos de fibras de acero.
 1) Fibras rectilíneas.
 2) Fibras perfiladas.

Tabla 2.2. Resistencia a la tracción para las tres clases de fibras según la norma italiana

Fuente: Maccaferri

Hay diversos tipos de fibras en función del proceso productivo:

- Alambre de acero trefilado en frío obtenido de alambroón fabricado
- Chapa de acero laminada en frío
- Otros tipos de fabricación (como, por ejemplo, fresado de un bloque de acero).

2.2.1. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS MACCAFERRI

Maccaferri produce fibras moldadas y cortadas de alambre de acero trefilado en frío.

Las características químicas de la materia prima (alambroón) están relatadas en la siguiente tabla, en función del diámetro final de la fibra:

Código de la fibra	Clasificación de la fibra según proceso productivo	Material de producción	Resistencia a la tracción (MPa)	Dimensiones			
				Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Relación de aspecto (L/d)	Número de elementos por kg de material (n/kg)
Wirand® FF1	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trefilado en frío	1100	50	1,00	50	3212
Wirand® FF3	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trefilado en frío	1200	50	0,75	67	5710
Wirand® FS1	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trefilado en frío	1200	37	0,55	67	14348
Wirand® FS3N	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trefilado en frío	1200	33	0,75	44	8651
Wirand® FS4N	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trefilado en frío	1200	33	0,60	55	13518
Wirand® FS7	 Inorgánica	Alambre de acero de bajo contenido de carbono trefilado en frío	1300	33	0,55	60	16067

Tabla 2.3. Fibras de acero

Fuente: Maccaferri

	Wirand® FF1	Wirand® FF3	Wirand® FS1	Wirand® FS3N	Wirand® FS4N	Wirand® FS7
Propiedades cualitativas del hormigón fibroreforzado						
Ductilidad y Tenacidad	●●●	●●●●	●●●●	●●	●●●	●●●●
Resistencia a la fatiga	●●	●●	●●●	●●●	●●●	●●●
Resistencia al impacto	●●●	●●●	●●●●	●●	●●●	●●●
Permeabilidad	●●	●●	●●●	●●	●●	●●●
Control de Microfisuración	●	●	●●	●●	●●	●●
Resistencia a la abrasión	●	●	●●●	●●	●●	●●●
Retracción a largo plazo	●●●●	●●●●	●●●	●●	●●	●●●
Resistencia al fuego						
●●●● Máximo desempeño ● Mínimo desempeño						

Tabla 2.4. Comportamiento cualitativo de las fibras Maccaferri

Fuente: Maccaferri

Dosificaciones Mínimas (kg/m ³) y espesores mínimos (mm)		Wirand® FF1		Wirand® FF3		Wirand® FS1		Wirand® FS3N		Wirand® FS4N		Wirand® FS7	
													
Diámetro max. agregados (mm)		25		25		18		15		15		15	
		Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.	Dos.	Es.
Pavimentación	Industriales	25	200	25	200								
	Aeropuertos	35	300	30	300								
	Áreas Comerciales	20	150	20	150								
	Mejoramiento de fundaciones	20	100	20	100	20	60	25	50	20	50	20	50
	Fundaciones para equipos	40	250	35	250	30	250	35	250	35	250	35	300
Túneles	Revestimiento primario					25	150	35	150	30	150	25	150
	Revestimiento final	30	300										
	Dovelas	60	350	50	350								
Prefabricados y otros	Aligerados					25	60	30	50	30	50	25	50
	Postensados								50	50	50	50	
	Extrudidos	30	150	25	150								
	Revestimiento de canales	25	150	20	150								

Tabla 2.5. Guía de aplicación del hormigón reforzado con fibras

Fuente: Maccaferri

2.3. CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

2.3.1. DEFINICIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

El concreto con fibra es la combinación del concreto convencional con fibras de acero que al ser incorporadas mejoran las propiedades mecánicas del concreto.

El concreto reforzado con fibras de acero es un material compuesto con unas ventajas y propiedades específicas de las que se podrá beneficiar notablemente en comparación con los métodos tradicionales de armado.

Las fibras con una adecuada resistencia mecánica a la tracción, homogéneamente distribuidas dentro del hormigón, constituyen una micro-armadura la cual, se muestra extremadamente eficaz para contrastar el fenómeno de fisuración por retracción y, además de conferir al hormigón una ductilidad que puede llegar a ser considerable en la medida en que sea elevada la resistencia de las fibras y su cantidad, confiriendo en tales circunstancias una gran tenacidad al hormigón.

La figura 2.4 ilustra cualitativamente las posibles respuestas, que se pueden obtener mediante los referidos ensayos de flexión, sobre elementos de hormigón fibroreforzado, representadas en su mayoría mediante gráficos de Carga vs. Abertura de fisura o Carga vs. Deflexión.

Bajo cargas moderadas, inferiores a la de rotura del hormigón, el comportamiento del material es siempre elástico y no se produce ninguna fisuración en la probeta bajo ensayo de flexión, independientemente de la presencia o calidad y cantidad de fibras. Sin embargo, comportamientos bastante distintos se pueden verificar continuando la prueba, incrementando la carga a partir del punto A, denominado “punto de primera fisuración”:

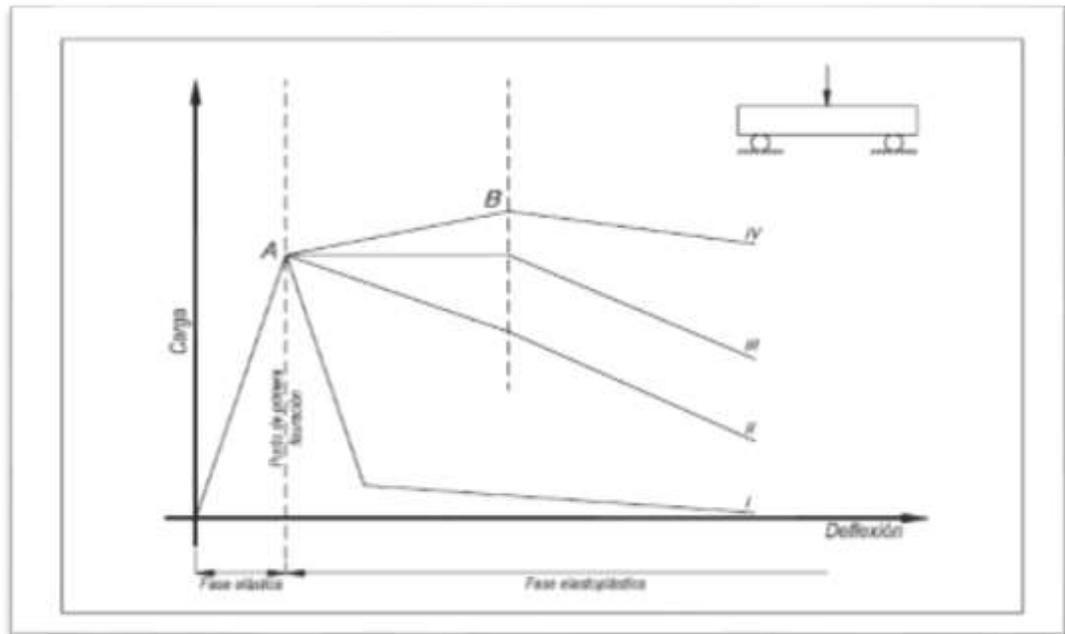


Figura 2.4. Ensayos de flexión

Fuente: Maccaferri

- La curva I esquematiza el comportamiento de un hormigón simple sin refuerzo. La estructura, siendo isostática (la viga simplemente apoyada en sus extremos), una vez alcanzada la carga de primera fisuración, ésta colapsa de inmediato, siendo el típico comportamiento de un material frágil.
- La curva II muestra la capacidad del hormigón (fibroreforzado) para absorber después del punto de primera fisuración cierta carga, aunque baja (A-B), con luego un colapso más lento (comportamiento suavizado).
- La curva III es típica de un material dúctil el cual muestra un hormigón capaz de soportar, a partir del punto de primera fisuración, un desplazamiento importante (A-B) bajo carga constante, bastante antes del colapso que es verificado de una manera más lenta (comportamiento plástico).
- La curva IV finalmente evidencia un hormigón con un cierto incremento de carga portante bajo un amplio desplazamiento (A-B), después del punto de primera fisuración (comportamiento endurecido).

Es importante destacar que todos estos posibles comportamientos, o grados de ductilidad y tenacidad adquiridos por el hormigón, dependen de la cantidad de fibras, sus características mecánicas y geométricas.

2.3.2. COMPONENTES BÁSICOS

El concreto está compuesto de cemento Portland, agregados, agua y aire atrapado o aire incluido intencionalmente. La Figura 2.5 muestra que el volumen absoluto del cemento está comprendido usualmente entre el 7% y el 15% y el agua entre el 14% y el 21%. El contenido de aire en concretos con aire incluido puede llegar hasta el 8% del volumen del concreto, dependiendo del tamaño máximo del agregado grueso.

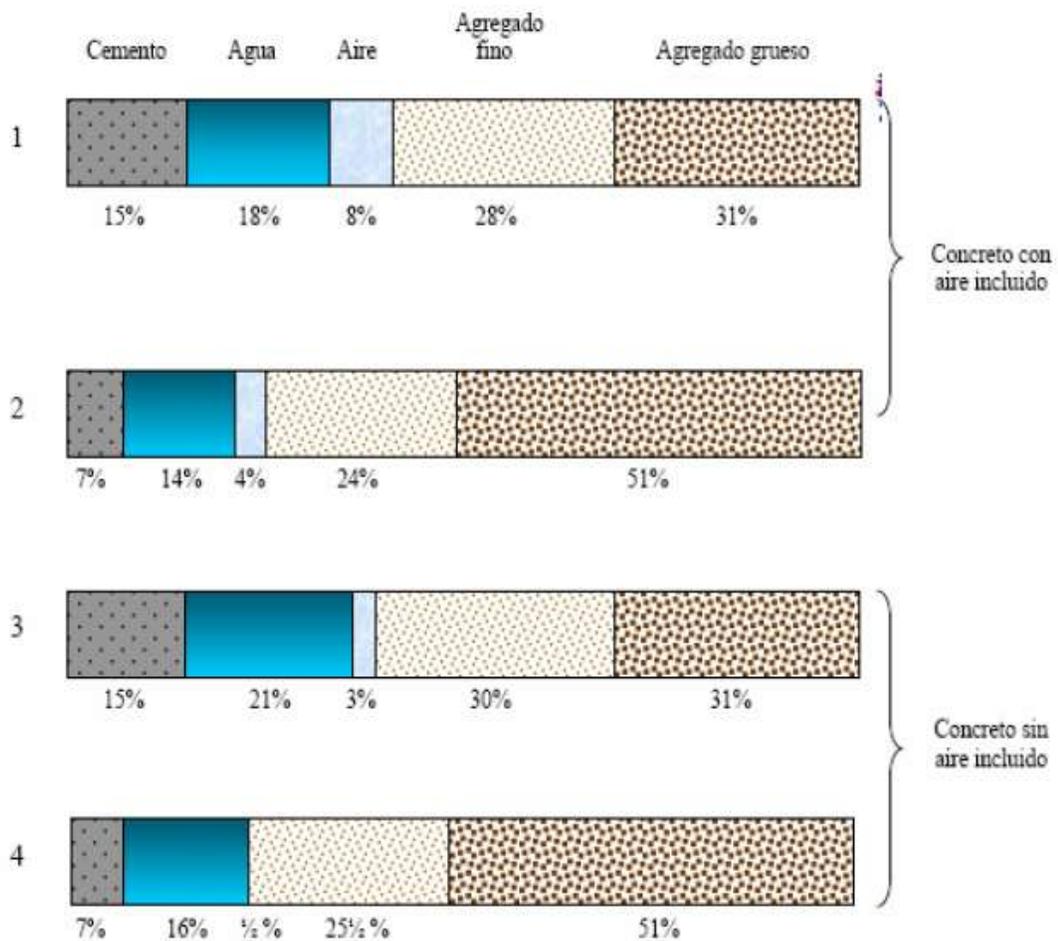


Figura 2.5. Composición del concreto

Los agregados deben consistir en partículas con resistencia adecuada así como resistencia a condiciones de exposición a la intemperie y no deben contener materiales que pudieran causar deterioro del concreto. Para tener un uso eficiente de la pasta de cemento y agua, es deseable contar con una granulometría continua de tamaños de partículas.

Para el caso del presente trabajo se adicionará la fibra de acero en proporción, de acuerdo a la dosificación de la mezcla.

2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Se puede decir que un buen concreto con fibra es aquel que logra aumentar, respecto al concreto simple, la resistencia a la tracción, al impacto, absorción de energía, capacidad de deformación.

Las propiedades mecánicas del concreto reforzado con fibras de acero están influenciadas por el tipo de fibra de forma (l/d), cuantía de fibra, método de preparación del espécimen y tamaño del agregado.

Las fibras determinan las propiedades mecánicas del concreto, especialmente frente a sollicitaciones que producen fatiga, esfuerzo de tracción, tensión directa, flexión, impacto y corte. Las variables más importantes que controlan las propiedades del concreto con fibra son la eficiencia de la fibra y su contenido.

Si la fibra tiene menos diámetro, el área de contacto para la misma cuantía será mayor y por lo tanto, la fuerza de anclaje aumentará.

Sin embargo se ha encontrado que fibras con factores de forma mayores a 100 ocasionan una inadecuada trabajabilidad de la mezcla, mala distribución de la fibra si se usan técnicas convencionales de mezclado. Es por eso que se busca mejorar el anclaje de la fibra a la matriz, no aumentando demasiado el factor de forma, sino por medio de superficies irregulares o extremos doblados.

- **Comportamiento dúctil**

Debido a la energía absorbida por las FIBRAS que se adhieren al concreto, las fibras se oponen al desarrollo de la fisura.

Las vigas que poseen acero en compresión y en tensión, ofrecen una mayor ductilidad que aquéllas reforzadas en tensión únicamente.

- **Resistencia a la compresión**

El aporte a la resistencia a la compresión es poco variable. La literatura da valores entre 0 % y 15 % para concretos de resistencia normal.

El mejor aporte de las fibras al concreto sometido a compresión es que evita que éste tenga una falla frágil y explosiva, dándole ductilidad al compuesto.

Bajo esfuerzos uniaxiales, el concreto reforzado con fibras de acero muestra ligero aumento, disminución o mantiene la resistencia comparada con el concreto simple, dependiendo del tipo de fibra, factor de forma y concentración de fibra.

- **Resistencia a la Tracción.**

El ensayo de Tracción se utiliza para evaluar varias propiedades mecánicas de los materiales que son importantes en el diseño, dentro de las cuales se destaca la resistencia, en particular, de metales y aleaciones.

El esfuerzo de Tensión del concreto reforzado con fibras es aproximadamente del mismo orden que el del concreto simple (20 a 40 Kg. /cm²), sin embargo la tenacidad del primero es mucho mayor debido a la fracción desarrollada por la fibra y la energía de deformación durante la extracción de ésta.

El esfuerzo último a la tracción se alcanza cuando un sistema interno de fisuras crece hasta una situación inestable en la cual puede propagarse catastróficamente.

Las fibras restringen las fisuras internas a zonas localizadas, evitando su propagación a las adyacentes. Esto siempre que estén uniformemente

distribuidas y lo suficientemente juntas para interactuar con las fisuras y evitar su propagación.

Existe alguna correlación entre la resistencia a la tracción y el espaciamiento de las fibras en el concreto. Se concluye finalmente que la resistencia a la tracción del concreto reforzado con fibras de acero se incrementa con la disminución de la separación de fibras.

Un concepto importante es el espaciamiento, las fibras mejoran su participación en el concreto si están más cerca unas a otras, incrementando a la tracción y controlando mejor las fisuras.

- **Resistencia a la flexión**

“Cuando se carga una viga, el comportamiento de ésta es esencialmente elástico y toda la sección contribuye a resistir el momento exterior. Cuando la tensión en la fibra más esforzada de alguna sección excede la resistencia del concreto a la tensión, empiezan a aparecer grietas. A medida que se incrementa la carga, estas grietas aumentan en número, en longitud y en abertura. A partir de la aparición de las primeras grietas, el comportamiento del espécimen ya no es elástico y las deflexiones no son proporcionales a las cargas. En las regiones agrietadas, el acero toma prácticamente toda la tensión. En esta etapa, el esfuerzo en el acero aumenta hasta que alcanza su valor de fluencia. Desde que el acero empieza a fluir, la deflexión crece en forma considerable, sin que apenas aumente la carga. Esto es, la resistencia del elemento es sólo ligeramente mayor que la carga que produce la fluencia del acero. Los primeros síntomas de la fluencia del acero son un incremento notable en la abertura y longitud de las grietas y un quiebre marcado en la curva carga-deflexión. A medida que aumenta la longitud de las grietas, la zona de compresión se va reduciendo, hasta que el concreto en esta zona es incapaz de tomar la compresión y se aplasta. El primer indicio de aplastamiento es el desprendimiento de escamas en la zona de compresión. Cuando esto ocurre, la carga disminuye con mayor o

menor rapidez, dependiendo de la rigidez del sistema de aplicación de la carga, hasta que se produce el colgado final.

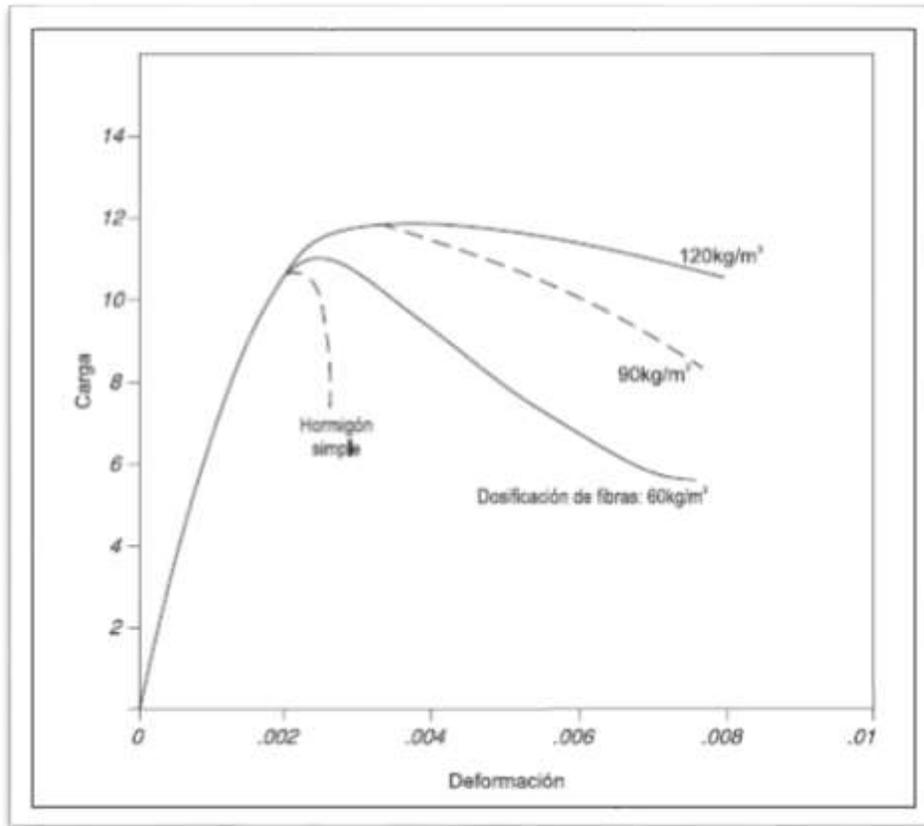


Figura 2.6 Ejemplo de gráfico Carga Vs Deformación para hormigones con diferentes contenidos de fibras

Fuente: Maccaferri

- **Contracción de fragua**

Los mismos factores que influyen en la deformación por contracción en el concreto simple influyen también en la deformación por contracción del concreto reforzado con fibras; concretamente, en la temperatura y humedad relativa, propiedades de los materiales, la duración de curación y el tamaño de la estructura. La adición de fibras (particularmente aceros), al concreto tiene efectos beneficiosos para equilibrar los movimientos que surgen a raíz de los

cambios de volumen que se dan en el concreto, además tiende a estabilizar los movimientos tempranos al ser comparados con el concreto simple.

La principal ventaja de las fibras en relación a la contracción es su efecto para reducir el espesor adverso de las grietas de contracción. Las grietas de contracción surgen cuando se restringe el concreto con movimientos por contracción. La presencia de fibras de acero demora la formación de la primera fisura, permite que el concreto ajuste más de una fisura y reduce considerablemente el ancho de ésta.

- **Resistencia a la fatiga**

En muchas aplicaciones, particularmente en pavimentos, la resistencia flexional a la fatiga y el límite de aguante son parámetros importantes de diseño ya que estas estructuras deben ser diseñadas para ciclos de carga fatiga.

La resistencia a la fatiga puede ser descrita como el “máximo esfuerzo” a la fatiga por flexión donde los compuestos de concreto reforzado con fibras pueden aguantar una cantidad prescrita de ciclos de fatiga antes de la falla. También puede ser definida como la cantidad máxima de ciclos de fatiga requerida para ceder una viga bajo un nivel de máximo esfuerzo a la flexión dada.

- **Resistencia a la Abrasión y Erosión**

Según Nani en 1989, quien realizó algunas pruebas de abrasión sobre muestras de corte de campo y laboratorio, afirmó que no se mostró alguna diferencia considerable entre la resistencia a la abrasión del concreto simple y el concreto reforzado con fibras de acero. Sin embargo, los resultados indicaron que las fibras de acero tienen efectos beneficiosos en la prevención de descascarado de los pavimentos existentes. Mientras la abrasión se relacione con el desgaste de pavimentos y losas de tráfico sobre ruedas es similar a la erosión de baja velocidad en la estructura hidráulicas donde no se espera que la presencia de fibras incremente la resistencia a la abrasión del concreto.

- **Consistencia y Trabajabilidad.**

La inclusión de las fibras en el concreto hace que éste disminuya su trabajabilidad y aumente su consistencia. La gran área superficial de las fibras tiende a restringir la movilidad de la mezcla.

La interacción de las fibras puede llevar a la formación de bolones que van en desmedro del material endurecido. En general, la trabajabilidad de la mezcla disminuye con el incremento del factor de forma de la fibra usada.

- **Resistencia al Fisuramiento**

La resistencia al fisuramiento incide directamente en la durabilidad del concreto reforzado con fibras de acero. Las fibras por lo general no cambian la permeabilidad que es debida a la porosidad del concreto, pero disminuye la permeabilidad debida a las rajaduras.

Las fibras de acero previenen que las micro fisuras se conviertan en fisuras mayores y de esta manera protege al concreto poroso del ataque agresivo del medio. Las fibras de acero se oxidan solamente en la superficie del concreto. La superficie oxidada es mínima.

2.5. VENTAJAS DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Las principales ventajas del concreto reforzado con fibra de acero:

- ✓ Superiores propiedades mecánicas; mayor resistencia a la flexión, tracción y cortante.
- ✓ Método superior en calidad y beneficios, además de menor costo que la malla metálica, como refuerzo secundario.
- ✓ Gran capacidad para soportar cargas.
- ✓ Control eficaz de los fenómenos de fisuración y retracción del hormigón.
- ✓ Excelente resistencia a los impactos y a la fatiga.
- ✓ Ductilidad.

- ✓ Excelente resistencia a la corrosión.
- ✓ Rápida y sencilla aplicación.
- ✓ Sustitución de la malla de acero, eliminando los riesgos de una mala colocación dependiendo del tipo de uso.
- ✓ Mejora el comportamiento y estabilidad de las juntas.
- ✓ Permite reducir el número de juntas de retracción.
- ✓ De fácil integración al hormigón, tanto en planta como a pie de obra.
- ✓ No requiere de tratamientos especiales. Se aplican las técnicas tradicionales de extendido y acabado.
- ✓ Economía. En la mayoría de los casos, para la realización de pavimentos de hormigón, supone un importante ahorro de materiales.

Tener en cuenta que la fibra de acero es un sustituto del refuerzo estructural, no previene fisuras ocasionadas por fuerzas externas, que para ningún caso se deben de modificar el diseño de las juntas en losas, toda modificación al concreto alterará el diseño de mezcla.

2.6. APLICACIONES DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

Principales aplicaciones de las fibras de acero son:

- **Pavimentación.**

Los pisos industriales son expuestos a una multitud de esfuerzos y tensión excesiva. Causado por hidratación, contracción, retracción y condiciones climatológicas; el esfuerzo ocurre durante la etapa de endurecimiento, el cual es insuficientemente sostenido por un concreto no reforzado. Junto con su uso, grandes cargas estáticas y móviles, puntuales o distribuidas con deformaciones menores de la losa del piso son transmitidas al subsuelo. Los pisos de concreto agrietados normalmente no representan un peligro para su uso. El 20% del costo de un edificio nuevo corresponde al piso de concreto. Pueden existir problemas

usando el resultado de una planeación falsa y costos por la pérdida de producción la cual difícilmente es calculada.

El mecanismo de un concreto reforzado con fibra de acero es mayormente basado en reprimir la formación y extensión de las grietas.

El comportamiento de adherencia de las fibras de acero al concreto es un factor de influencia esencial. Dado a la inferior adherencia de la superficie.

Eso quiere decir que después de que ocurre el ensanchamiento de una grieta visible, los ganchos de los extremos de las fibras de acero enganchan la grieta y transmiten las fuerzas de una pared de la grieta hacia la otra. Las fibras de acero tienen que mostrar una alta fuerza a la tensión dado a su bajo factor de capacidad por unidad (40% - 60%).

Usos:

- ✓ Pavimentación Industrial
- ✓ Pavimentación Aeroportuaria
- ✓ Pavimentación de avenidas
- ✓ Fundación para máquinas vibratorias
- ✓ Reparación de superficies
- ✓ Tanques de agua.

- **Concreto Proyectado**

La incorporación de fibras de acero al concreto proyectado, reemplazando a la malla electrosoldada, en algunas obras se ha llegado a incrementar el rendimiento de avance hasta un 40%, debido al ahorro de tener que instalar la malla de refuerzo, que además implica un alto riesgo.

Las fibras se distribuyen uniformemente en todo el espesor del hormigón proyectado, impartiendo un mejor comportamiento triaxial frente a las tensiones de corte y flexión debido a la disminución drástica de las fisuras por contracción. No hay que dejar de mencionar que el efecto de sombra que se

produce detrás de la malla electrosoldada puede dejar vacíos que inducen corrosión en la misma y posterior fisuración del concreto.

El comportamiento del concreto proyectado frente a la absorción de esfuerzos mejora notablemente gracias a la ductilidad que le otorgan las fibras en dosis adecuadas, llegando a aumentar el valor de energía de rotura del concreto hasta en 5 veces.

Usos:

- ✓ Construcción de túneles carreteros, ferroviarios, hidráulicos.
- ✓ Industria mineras
- ✓ Revestimiento de taludes
- ✓ Estabilización de excavación para fundaciones.
- ✓ Trabajos de saneamiento
- ✓ Estabilización de taludes.

- **Prefabricados de concreto con fibra**

- ✓ Paredes prefabricadas
- ✓ Sumideros prefabricados
- ✓ Fundación tipo zapata
- ✓ Revestimiento de conductos de acero en ambientes agresivos.
- ✓ Anillos para túneles.
- ✓ Hornos, tanques de agua.
- ✓ Elementos resistentes al fuego.

CAPÍTULO III

Capítulo III

PROGRAMA Y DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS

Para cuantificar el efecto de la incorporación de las fibras de acero al hormigón para pavimentos, se efectuarán ensayos comparativos entre un pavimento convencional y un pavimento reforzado con fibras de acero.

Se usó un hormigón de una calidad nominal, medida como resistencia a la compresión, de 350 kg/cm², a los 28 días.

Los ensayos a realizar son los de trabajabilidad y resistencia a flexo tracción. El primer ensayo se realizará con el hormigón en estado fresco y el último ensayo se realizará con el hormigón ya endurecido.

ENSAYO	ESTADO DEL HORMIGÓN	EDAD DEL HORMIGÓN
Trabajabilidad	Fresco	Menos de media hora
Resistencia a Flexo tracción	Endurecido	28 días

Tabla 3.1 Resumen de los Ensayos a Realizar en el hormigón

Fuente: Propia

Los ensayos del presente trabajo de investigación referente al estudio preliminar de los agregados y el cemento, como para los ensayos propios del hormigón, se lo realizaron en los ambientes de Laboratorio de Suelos y Tecnología del Hormigón de la carrera de Ingeniería Civil en el campus universitario de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.1. ELECCIÓN DE MATERIALES

Los materiales son elegidos de acuerdo a normas tanto para el estudio del agregado patrón de acuerdo a la norma ASTM, como para la rotura y control de calidad de las mismas, todos estos materiales corresponden a lugares pertenecientes a la ciudad de Tarija.

3.1.1. TIPOS DE CEMENTO

El cemento Portland por definición es un material que al combinarse con el agua fragua y endurece adhiriéndose firmemente a otros materiales, como la roca y el acero, tanto bajo el agua como el aire. Se presenta en forma de polvo muy fino, de color gris a gris verdoso. En la constitución del hormigón, la unión de los agregados se logró por medio de cementos que generalmente son “Cementos Portland”, éstos pertenecen a la familia de los conglomerantes hidráulicos formados por materiales pulverulentos artificiales de naturaleza inorgánica.

Los cementos utilizados en la presente investigación son: IP-30, estos materiales son producidos por la fábrica El Puente.

Cemento	Tipo	Peso Específico
El Puente	IP -30	3.17

Tabla 3.2 Peso Específico del cemento

Fuente: Propia

3.1.2. AGUA

El agua utilizada en el desarrollo del proyecto se obtuvo del sistema de agua potable correspondiente a la red pública de la ciudad de Cercado- Tarija.

La utilización del agua es muy importante en la realización del concreto, debido a que se la utiliza desde el lavado de los agregados, preparación del concreto y curado del mismo, por esta razón el agua debe estar libre de impurezas para brindarle al hormigón las mejores características.

El agua es un elemento fundamental en la preparación del concreto, estando relacionado con la resistencia, trabajabilidad y propiedades del concreto endurecido.

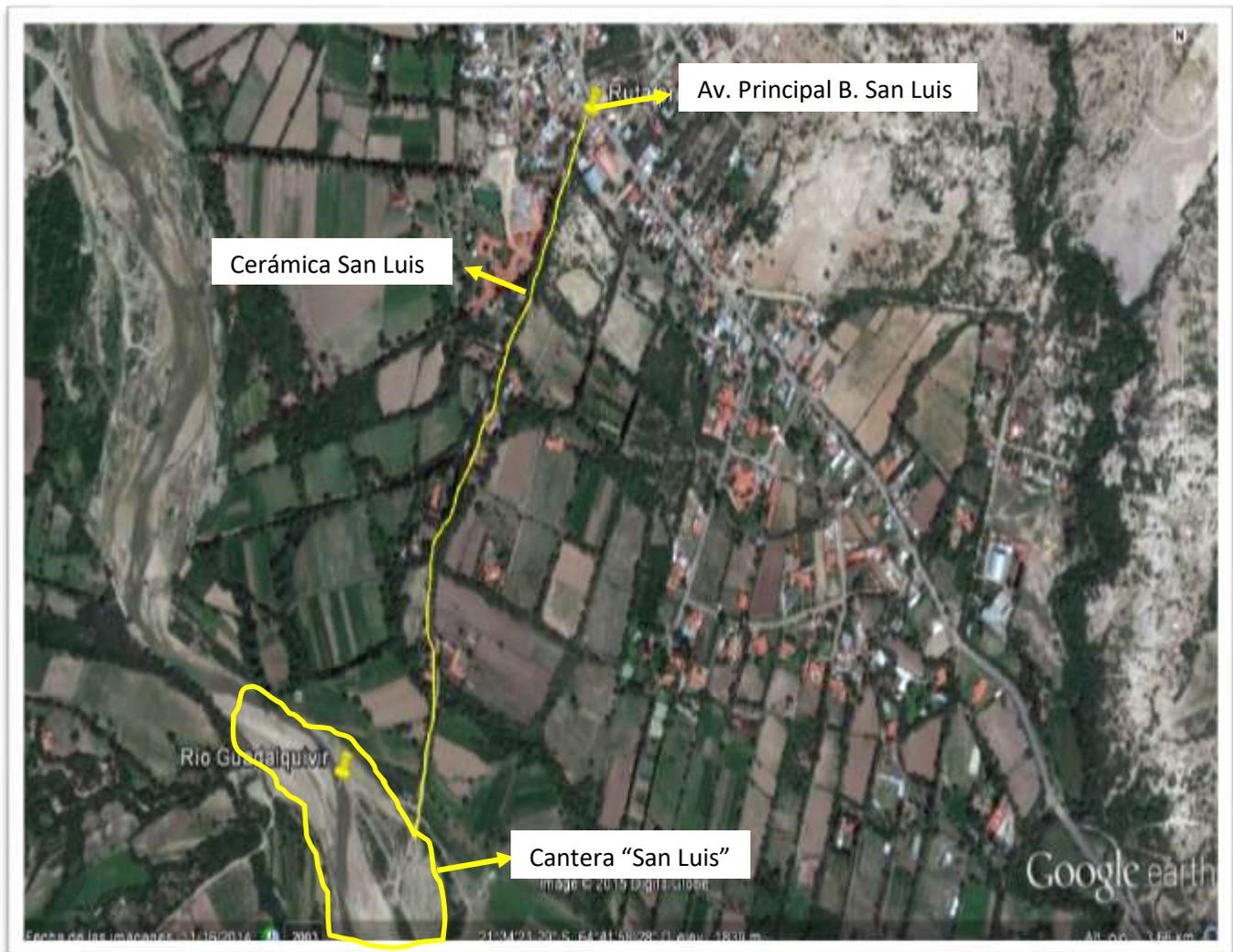
3.1.3. AGREGADOS

Los agregados empleados en el proyecto, fueron seleccionados por una razón fundamental, la de verificar las propiedades de los mismos en la producción de hormigón para pavimentos urbanos.

Puesto que el agregado ocupa, por lo menos tres cuartas partes del volumen del concreto, no es de sorprender que su calidad revista considerablemente importancia. El agregado limita la resistencia del concreto, ya que un agregado débil no puede producir concreto resistente y además afecta mucho la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto.

3.1.3.1. YACIMIENTOS DE LOS AGREGADOS

Los factores más importantes que hay que tener en cuenta en la fabricación de hormigones, son los áridos, por estas circunstancias y tomando en cuenta el objetivo de la presente investigación, es que nos permitimos describir en forma resumida la Cantera de San Luis.



Fotografía.3.1. Ubicación de la Cantera "San Luis"

Fuente: Propia

3.1.3.1.1. CANTERA "SAN LUIS"

La investigación de campo para la selección de los materiales de concreto, antes de la explotación de los mismos, está principalmente limitada a la prospección para la ubicación de agregado y la exploración y muestreo de depósitos disponibles, por lo tanto se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- a) **Ubicación.-** Los yacimientos o la cantera de “San Luis” se encuentra ubicada al Sur este de la ciudad de Tarija, aproximadamente a 7 Km. de la ciudad.
- b) **Tipo de cantera.-** En lo que sigue se proporciona el tipo de banco a explotarse, es de tipo aluvial, debido a que el agua a lo largo del curso tiene ocasión de erosionar materiales muy diferentes, es normal que los ríos arrastren materiales muy variados, dependiendo de la velocidad de la corriente y del caudal; esto condiciona un gran poder erosivo en las zonas altas del Río Guadalquivir, por lo que el agua arrastra materiales erosionados muy grandes del tamaño de la grava y la arena, aún fragmentos de roca, que van rodando cauce abajo. En el curso medio, como es la zona de “San Luis”, la pendiente del río disminuye y correspondientemente lo hace la velocidad, por lo que restringe la fuerza erosiva por este concepto; es muy común que por esta razón en el curso medio del río se depositen los materiales del tamaño de la grava y de la arena, siendo estas zonas muy apropiadas para la búsqueda de estos bancos.
- c) **Cantidad de material a explotarse.-** Por ser de origen aluvial y arrastrado por la velocidad del agua y la tendencia erosionable del Valle central de Tarija, la cantidad de material de los agregados es prácticamente ilimitado. Su explotación actual (en forma rudimentaria) se extiende desde la población de “San Luis” hasta la “Angostura”, existiendo material en toda su longitud de aproximadamente 3 km con una superficie de 60 has. , su cantidad en volumen es prácticamente ilimitado.
- d) **Calidad y observaciones.-** En cuanto a la calidad del material del indicado yacimiento o cantera, cumple con todas las especificaciones de la ASTM, AASHTO y otras normas.

3.1.4. FIBRAS DE ACERO

Las fibras que se utilizaron en este trabajo son:

✓ FIBRA WIRAND

Es una fibra metálica, producida por trefilación a partir de alambres de bajo contenido de carbono. Presenta dos dobleces en cada extremidad para mejorar la adherencia y consecuentemente, el anclaje.



Fibra WIRAND

La selección del tipo de fibra depende del tamaño máximo nominal del agregado grueso y el uso que se le dará al concreto; en nuestro caso se utilizó la fibra Wirand FF1 porque esta fibra es la que se encuentra dentro de los rangos de las especificaciones que nos da la empresa, es decir que el presente trabajo de investigación se lo está realizando para pavimentos y el diámetro máximo del árido es de 38 mm.

Dentro de las especificaciones que nos brinda la empresa Maccaferri en la tabla N° 2.5 nos indica que la dosificación de fibras de acero es de 25 kg por m³.

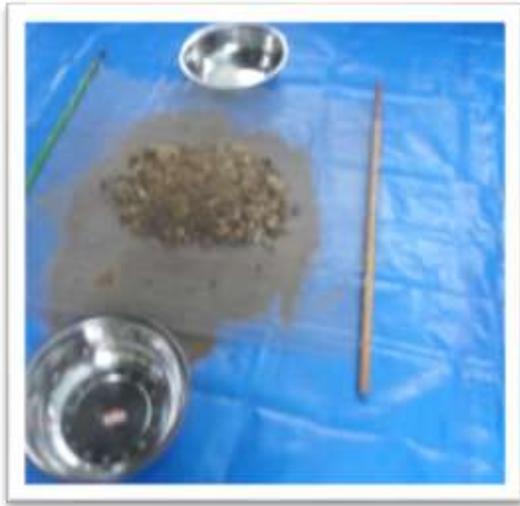
3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS DE LOS MATERIALES

3.2.1. TOMA DE MUESTRA DE CAMPO

De la cantera del barrio San Luis se tomó muestras en distintos puntos del lugar, para luego realizar un cuarteo manual y así seleccionar una muestra representativa. Posteriormente las muestras se trasladaron para poder lavarla y así sacar sus impurezas, como ser trozos de ladrillos, carbones, etc.



Fotografía.3.2. Toma de muestras en la cantera de “San Luis”



Fotografía.3.3. Lavado de material

Para tomar las muestras del agregado de la cantera “San Luis”, se debe seguir un procedimiento, cumpliendo lo que las normas ASTM nos indican, que es el siguiente:

- Dado que el muestreo es tan importante como los ensayos mismos, por lo tanto se debe tomar todas las precauciones necesarias para extraer una muestra representativa.
- A todas las muestras extraídas se las debe mezclar con una pala en una superficie plana, hasta obtener una muestra homogénea.
- Posteriormente se debe realizar la reducción de este material mediante el método de cuarteo (ASTM C-702, AASHTO T- 248); y así obtener una muestra representativa del agregado.
- Luego de obtener la muestra representativa del agregado de la cantera “San Luis”, se realiza el traslado del material mediante bolsas.
- Se realizó la separación de la muestra del agregado mediante una malla N°4 para separar el agregado grueso del agregado fino.
- Posteriormente se procedió a lavar el material para quitar las impurezas que este puede presentar, tanto el agregado grueso como el agregado fino.

- En el agregado fino se tuvo que lavar con el tamiz N°200, para que el porcentaje de limo no sea excesivo y perjudicial en la preparación del hormigón para pavimentos.

3.2.2. ENSAYOS EN LABORATORIO

3.2.2.1 MUESTRA

Las muestras para el ensayo se obtienen por medio de cuarteo, manual y mecánico; el cuarteo manual se lo hizo de todo el material de la muestra y fue llevado al laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho y en el laboratorio se realizó el cuarteo mecánico para utilizar el material necesario en cada ensayo.

El agregado debe de estar completamente mezclado. La muestra para ensayo debe tener la masa seca aproximada y consistir en una fracción completa de la operación de cuarteo.



Fotografía.3.4. Muestreo mecánico

3.2.2.2. ENSAYO DE LOS AGREGADOS

3.2.2.2.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS ASTM C136

Este método establece el procedimiento para tamizar y determinar la granulometría de los áridos. Es aplicable a los áridos que se emplean en la elaboración de morteros, hormigones, tratamientos superficiales y mezclas asfálticas.

Es necesario realizar este ensayo para la caracterización de los materiales por lo menos tres veces, para así confirmar que la granulometría tanto del agregado grueso y fino está dentro de los límites aconsejables de la granulometría para la realización de hormigones para pavimentos, como indica las tablas siguientes:

Tabla 2.2 Normas de calidad (Granulometría)			
Denominación de la Malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo		
	2.5 cm (1")	1 1/2" (4 cm)	5 cm (2")
2 1/2"	-	-	100
2"	-	100	90 - 100
1 1/2"	100	90 - 100	-
1"	90 - 100	-	35 - 70
3/4"	-	35 - 70	-
1/2"	25 - 60	-	10 - 30
3/8"	-	10 - 30	-
No 4	0 - 10	0 - 5	0 - 5
No 8	0 - 5	-	-

Requisitos adicionales:

Desgaste Los Angeles:	40 % máximo
Materiales que pasa la malla No. 200 (0.074mm)	0.50 máximo
Carbón	1.0 % máximo
Otras sustancias y fragmentos blandos.	5.0 % máximo

Tabla 3.3 Normas de calidad del agregado grueso

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos

Tabla 2.3 Granulometría recomendada en la arena	
Denominación de la malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo
3/8 *	100
No. 4	95 - 100
No. 8	80 - 100
No. 16	50 - 85
No. 30	25 - 60
No. 50	10 - 30
No. 100	0 - 10

Requisitos adicionales:

Módulo de finura:	2.2 a 3.1
Materiales que pasan la malla No. 200 (0.074mm)	3 % máximo
Carbón:	1.0 %
Partículas deleznales:	3 % máximo
Impurezas orgánicas, referidas a color límite según patrón	amarillo claro

Tabla 3.4 Normas de calidad del agregado fino

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos

Se realizó el ensayo tres veces, siguiendo el siguiente procedimiento:

- Primero cuarteando manualmente el material tanto del agregado grueso y el agregado fino, para llevarlo a laboratorio de Suelos y Tecnología del Hormigón, luego en el laboratorio se realizó el cuarteo mecánico para sacar las tres muestras representativas del agregado grueso y fino.
- Secando el agregado 24 horas en el horno del laboratorio y luego pesando el material necesario para realizar el ensayo de granulometría con los tamices y realizando el agitado de estos con el Rop-Tap.

- Para posteriormente pesar el material retenido en cada tamiz y realizar los cálculos correspondientes.

La granulometría del agregado grueso se encontró dentro de los límites de la tabla N°3.3.

Mientras que la granulometría del agregado fino no estaba dentro de los límites recomendados según la tabla N°3.4, porque en un punto se salía de los límites por lo tanto se tuvo que quitar un poco de material que estaba en exceso para que la granulometría del agregado fino este dentro de los límites recomendados.



Fotografía.3.5. Tamizado de los agregados con el Rop-Tap

3.2.2.2.2. MÉTODO PARA DETERMINAR EL MATERIAL FINO MENOR QUE EL TAMIZ N°200 (ASTM C 117)

El método establece el procedimiento mediante el tamizado húmedo para determinar el contenido de material fino compuesto por partículas inferiores a 0,075mm (N° 200) en los áridos.

Este método se aplica al ensayo de áridos que se emplean en la elaboración de hormigones para controlar que el agregado fino no tenga un exceso de material que pasa el tamiz N° 200 y así afecte en la resistencia del hormigón.

Este ensayo se realizó tres veces para luego promediarlo y así obtener una buena caracterización.

Porcentaje que pasa tamiz N°200	2.53 %
----------------------------------------	---------------

Tabla 3.5. Promedio del porcentaje que pasa tamiz N°200

Fuente: Propia

El resultado de este ensayo está por debajo del 3% que es el valor máximo del porcentaje que pasa el tamiz N°200 en la tabla N°3.4.

3.2.2.2.3. PESO UNITARIO DE AGREGADO GRUESO Y FINO (ASTM C29)

Este método establece los procedimientos para determinar el peso unitario compactado, el porcentaje de vacíos de los agregados gruesos y finos.



Fotografia.3.6. Varillado del Agregado Fino



Fotografia.3.7. Varillado del Agregado Grueso

Este ensayo se realiza tres veces para encontrar el promedio del peso unitario del agregado grueso y el agregado fino, con el siguiente procedimiento:

- El material a utilizar debe estar con una humedad del medio ambiente.

- Se calibro los moldes que serán utilizados tanto para el agregado grueso y el agregado fino con agua.
- Tanto el agregado grueso como el agregado fino se fue apisonando en los moldes en tres capas con 25 golpes cada capa y luego se enraso los moldes.
- Se pesó los moldes con el material apisonado para luego calcular y obtener los siguientes resultados:

Promedio del peso unitario del Agregado Fino	1.50 gr/m ³
Promedio del peso unitario del Agregado Grueso	1.74 gr/m ³

Tabla 3.6 Resultados del Peso Unitario de los Agregados

Fuente: Propia

3.2.2.2.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM C127)

Este método establece los procesos para la determinación del peso específico y absorción del agregado grueso.

El peso específico de los agregados permite conocer los volúmenes compactados del agregado con el fin de dosificar morteros u hormigones. Relacionados con el peso unitario permite conocer la compacidad del agregado. La absorción está íntimamente relacionada con la porosidad interna de los granos del agregado y con la permeabilidad de los morteros y hormigones.



Fot.3.8. Remojando el Agregado Grueso



Fot.3.9. Secado superficial del Agregado



Fot.3.10 Peso Sumergido del agregado



Fot.3.11. Secado del Agregado Grueso

Este ensayo se lo realizo tres veces para luego tener el promedio de los siguientes resultados.

Promedio Peso Específico a Granel	2,58
Prom. Peso Esp. en condición saturado y superficie seca	2,61
Promedio Peso Específico Aparente	2,66
Promedio % de Absorción	1,09

Tabla 3.7. Resultados del Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Grueso

Fuente: Propia

3.2.2.2.5. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C128)

Este método establece los procesos para la determinación del peso específico y absorción del agregado fino.

El peso específico puede ser expresado como peso específico de la masa, el peso específico de la masa, o peso específico aparente. El peso específico de la masa y la absorción se obtienen con agregados previamente remojados en agua por 24 horas. Este método no puede ser usado con agregados livianos.



Fot.3.12. Verificación que la arena este secada superficialmente



Fot.3.13. Agregado Fino en el matraz

Este ensayo se realizó tres veces para obtener el promedio que son los siguientes:

Promedio Peso Esp. A Granel	2,40
Promedio Peso Esp. en cond. Sat. Y Sup. Seca	2,50
Promedio Peso Específico	2,68
Promedio % de Absorción	4,39

Tabla 3.8 Resultados del Peso Específico y Porcentaje de Absorción del Agregado Fino

Fuente: Propia

3.2.2.3. ENSAYO DEL CEMENTO

3.2.2.3.1. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASTM C185

Este método tiene por objeto determinar el peso específico del cemento utilizando el frasco de Le Chatelier, que se llena de kerossene hasta una marca, luego se introduce el cemento y se mide la nueva lectura producto del desplazamiento de volúmenes debido a la introducción del cemento en dicho frasco.



Fot.3.14. Cemento con Kerossene en el matraz

Este ensayo se realizó tres veces del cemento El Puente, para obtener un promedio del peso específico.

Promedio del Peso Específico	3.17 gr/ml
-------------------------------------	------------

Tabla 3.9 Promedio del Peso Especifico

Fuente: Propia

3.2.2.3.2. DETERMINACIÓN DE LA FINURA DEL CEMENTO POR MEDIO DE TAMIZ N°200

Este método de ensayo tiene por objeto la determinación de la finura del cemento, por medio del tamiz N° 200.



Fot.3.15. Pesaje del cemento



Fot.3.16. Tamizado en el Rop-Tap

Promedio de la Finura de cemento	79.41 %
-----------------------------------------	---------

Tabla 3.10. Promedio de la Finura del Cemento

Fuente: Propia

3.3. DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO

3.3.1. DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO CONVENCIONAL

En primer lugar, luego de tener los resultados de la caracterización del material necesario para la realización del hormigón se procede a dosificar el hormigón a 350 kg/cm² (resistencia a compresión de 350Kg/cm² a los 28 días) se escoge este tipo de hormigón con la intención que pueda ser utilizado en pavimentos rígidos.

Para realizar la dosificación se siguió la norma ACI 2.11, ya que es la que más se adecua con los materiales de nuestro medio por otra parte en nuestra investigación tenemos como base el tamaño máximo nominal de nuestro agregado grueso.

MATERIAL	CANTIDAD POR m³
AGREGADO GRUESO	1241.01 kg/m ³
AGREGADO FINO	572.325 kg/m ³
CEMENTO	416.05 kg/m ³
AGUA	164.34 lt/m ³

Tabla 3.11 Resultados de dosificación para 1 m³

Fuente: Propia

3.3.2. DOSIFICACIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS

Para poder realizar el análisis del pavimento reforzado con fibras de acero y el pavimento convencional, la dosificación del concreto reforzado con fibras debe ser el mismo que el concreto convencional, solo se debe adicionar las fibras de acero en la mezcla con una dosificación que se muestra en la tabla N°2.5.

MATERIAL	CANTIDAD POR M³
AGREGADO GRUESO	1241.01 kg/m ³
AGREGADO FINO	572.325 kg/m ³
CEMENTO	416.05 kg/m ³
AGUA	164.34 lt/m ³
FIBRAS DE ACERO	25 kg/m ³

Tabla 3.12 Resultados de dosificación para 1 m³

Fuente: Propia

3.4. CONFECCIÓN DEL CONCRETO Y FABRICACIÓN DE PROBETAS PRISMATICAS

3.4.1. CONFECCIÓN DEL CONCRETO CONVENCIONAL Y FABRICACIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS

El procedimiento detallado de la confección del concreto convencional se describe a continuación:

- a) Pesar los áridos por separado (grava y arena) en estado húmedo.
- b) Tomar muestras de los áridos pesados y determinar su contenido de humedad.
- c) Corregir por humedad el peso de los áridos y del agua en la dosificación.
- d) Pesar el cemento y el agua total corregida por humedad.
- e) Los moldes que serán utilizados para la realización de las vigas fueron aceitados para que sea más fácil su desmoldado y tenga un mejor acabado en sus paredes.
- f) Se utilizó la mezcladora mecánica, donde se cargó la grava y la arena, agregando una fracción del agua total (un 20% aproximadamente)
- g) Revolver los áridos durante 30 segundos para humedecerlos completamente.

- h) Cargar el cemento en la mezcladora.
- i) Amasar los materiales durante 2 minutos, agregando el agua.
- j) Revolver manualmente la mezcla verificando su estado (asegurándose de que no quede material sin mezclar adherido al fondo y en las paredes de la mezcladora).
- k) Amasar durante otros minutos.
- l) Medir la docilidad del hormigón en el cono de Abrams
- m) Se procede a llenar las probetas prismáticas con el concreto mediante una pala, en dos capas los cuales se deben compactar por medio de 50 golpes de varilla; la última capa se debe emparejar con el palustre.
- n) Las muestras, se dejaron en un lugar seguro, protegidas del sol y de toda contaminación, se identifican con un papel provisorio hasta su desmolde, donde serán marcadas definitivamente.
- o) Luego de 24 horas se procedió a desmoldar las probetas prismáticas teniendo especial cuidado de no dañarlas.
- p) Se trasladan las vigas al curado de estas donde se mantendrán sumergidas en agua, hasta la fecha de ensayo.



Fot.3.17. Preparado de las vigas de hormigón convencional

3.4.2. CONFECCIÓN DEL CONCRETO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO Y FABRICACIÓN DE PROBETAS PRISMÁTICAS.

Se sigue el mismo procedimiento que el punto 3.4.1 con la diferencia que se debe adicionar las fibras de acero mediante una “lluvia continua” de las fibras sobre el concreto mientras se realiza el amasado de 2 minutos (inciso k).

Y se continúa con el mismo procedimiento hasta llenar las probetas prismáticas, desmoldarlas, curarlas hasta llevarlas a su fecha de ensayo.

El tiempo requerido para llenar el molde fue de aproximadamente 5 minutos, las dimensiones de estos moldes prismáticos corresponden a 15cm de base, 15 cm de alto y 53 cm de largo.

El número total de probetas prismáticas son de 30 vigas de concreto convencional y 30 vigas de concreto reforzado con fibras de acero.



Fot.3.18. Pesaje de las fibras de acero



Fot.3.19. Incorporación de las fibras de acero en la mezcla

3.5. ENSAYOS DEL CONCRETO

3.5.1. ENSAYOS DEL CONCRETO FRESCO

Durante la etapa en que el hormigón se mantiene en estado fresco es de gran importancia poder otorgarle una docilidad adecuada, para el uso que se desea darle.

Para cuantificar la trabajabilidad del hormigón se medirá el asentamiento del cono de Abrams (ASTM C-143).

El cono de Abrams es un molde troncocónico de 30 cm de altura que se rellena con el hormigón a ensayar. La pérdida de altura que experimenta la masa fresca del hormigón una vez desmoldada, expresada en centímetros, da una medida de su consistencia.

Consistencia	Asiento en cono de Abrams (cm)
Seca	0 a 2
Plástica	3 a 5
Blanda	6 a 9
Fluida	10 a 15
Líquida	≥ 16

Tabla 3.13. Asentamiento de cono

Fuente: P. Jiménez Montoya

3.5.1.1. ENSAYOS DEL ASENTAMIENTO DEL CONO DE ABRAMS, ASTM C-143

El ensayo se efectúa conforme a lo señalado en la norma ASTM C-143.

El hormigón cumple con el requisito de tener un tamaño máximo del árido menor que 2" y su trabajabilidad está dentro de los límites establecidos para la aplicabilidad del método, esto es, entre 2 y 18 cm.

Al realizar los ensayos no se observan inclinaciones o disgregaciones del cono de hormigón, por el contrario se observa una gran cohesión y plasticidad de la mezcla.

Para el caso del hormigón reforzado con fibras de acero se observa una mayor cohesión en relación con el hormigón convencional.



Fot.3.20. Ensayo de trabajabilidad concreto convencional



Fot.3.21. Ensayo de trabajabilidad concreto reforzado

3.5.2. ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

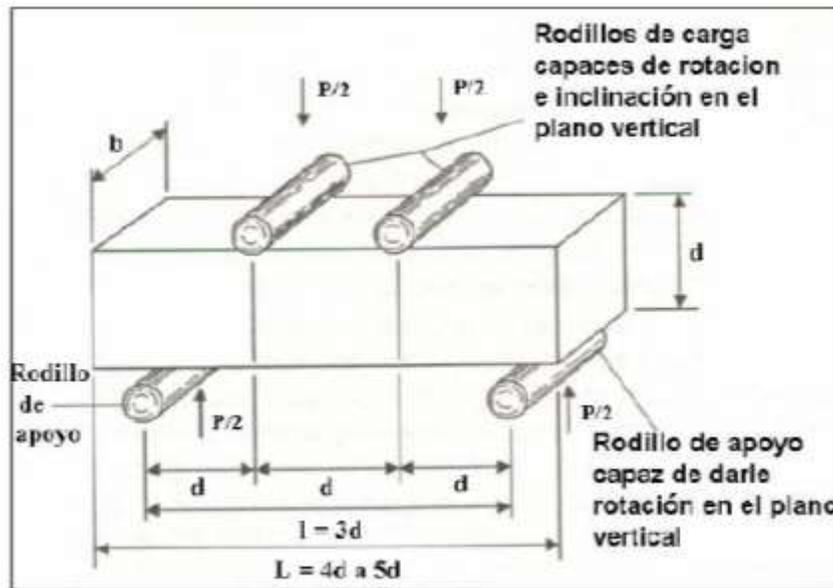
Se consideró de interés el caracterizar los hormigones del presente estudio en cuanto a su resistencia a la flexotracción debido a que su aplicación es en pavimentos y en este caso el aumento de la resistencia a flexotracción por efecto de las fibras sería muy beneficioso.

Este método de prueba cubre la determinación de la resistencia a la flexión del hormigón empleando una viga sencilla con cargo en los tercios, basándose en la norma ASTM C-78.

3.5.2.1. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ASTM C-78

Este ensayo consiste en someter una vigueta de hormigón simplemente apoyada, a una sollicitación de flexión mediante la acción de dos cargas concentradas en los límites del tercio central de la luz del ensayo.

La Resistencia a la flexión se expresa como el *Módulo de Rotura* en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C-78 (cargada en los puntos tercios).



Según la norma, para las dimensiones de esta probeta prismática se debe realizar el ensayo con dos cargas puntuales del mismo valor, aplicadas en los límites del tercio central de la luz del ensayo. Se ha escogido una luz de ensayo de 45 cm.



Fot.3.22. Ensayo de flexotracción



Fot.3.23. Ensayo de flexotracción

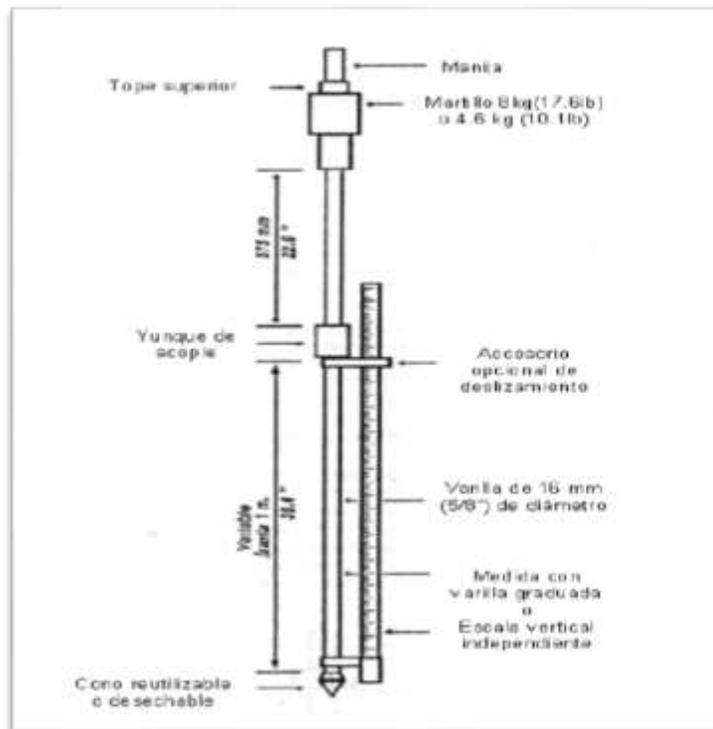
El ensayo a flexotracción de esta investigación se lo realizó para determinar la resistencia a flexotracción del hormigón para verificar posteriormente si con la adición de la fibra de acero se aumenta la resistencia de flexotracción o no.

3.6. ENSAYO DE LA SUBRASANTE

3.6.1. ENSAYO DEL PENETRÓMETRO DINÁMICO DE CONO

Este método de ensayo cubre la medida de la tasa de penetración del penetrómetro dinámico de cono (PDC) con un martillo de 8 kilogramos, a través de un suelo inalterado o de materiales compactados. La tasa de penetración puede ser relacionada con valores de resistencia in-situ, tales como el CBR (California Bearing Ratio).

El PDC descrito en este método de ensayo es típicamente utilizado en aplicaciones relacionadas con pavimentos.



El ensayo del PDC se lo realizo en el barrio 24 de Junio en la calle que se realizó el ensayo de PDC y se observó el tráfico para el diseño de los espesores de carpeta, se encuentra entre las calles Colon y Mejillones; en el largo de una cuadra donde se realizó 3 veces este ensayo para obtener el valor de CBR de la subrasante.



Fotografía. 3.24 Lugar donde se realizó el ensayo

Fuente: Propia



Fotografía 3.25. Los tres puntos donde se realizó el ensayo de PDC

Fuente: Propia

El procedimiento que se siguió al realizar este ensayo fue el siguiente:

- Una vez ubicado el lugar del ensayo, se ubica el equipo verticalmente sobre el terreno donde no se encuentre con piedras que obstaculizan el ensayo.
- Al iniciar el ensayo con el penetrómetro se introduce el cono asentándolo para asegurar que la punta este bien confinado.
- El proceso de golpe del martillo es levantarlo hasta la parte superior del eje de recorrido y dejarlo caer.
- Realizar el conteo de golpes y leer la longitud de la profundidad que entra.

EL CBR estimado in-situ se calcula utilizando el índice PDC y una tabla como la Tabla 2, para cada juego de lecturas.

Tabla 2. Correlación Tabulada de CBR vs Índice PDC

Índice PDC mm/golpe	CBR %	Índice PDC mm/golpe	CBR %	Índice PDC mm/golpe	CBR %
<3	100	39	4.8	69-71	2.5
3	80	40	4.7	72-74	2.4
4	60	41	4.6	75-77	2.3
5	50	42	4.4	78-80	2.2
6	40	43	4.3	81-83	2.1
7	35	44	4.2	84-87	2.0
8	30	45	4.1	88-91	1.9
9	25	46	4.0	92-96	1.8
10-11	20	47	3.9	97-101	1.7
12	18	48	3.8	102-107	1.6
13	16	49-50	3.7	108-114	1.5
14	15	51	3.6	115-121	1.4
15	14	52	3.5	122-130	1.3
16	13	53-54	3.4	131-140	1.2
17	12	55	3.3	141-152	1.1
18-19	11	56-57	3.2	153-166	1.0
20-21	10	58	3.1	166-183	0.9
22-23	9	59-60	3.0	184-205	0.8
24-26	8	61-62	2.9	206-233	0.7
27-29	7	63-64	2.8	234-271	0.6
30-34	6	65-66	2.7	272-324	0.5
35-38	5	67-68	2.6	>324	<0.5

La penetración por golpe se emplea para estimar el CBR in-situ o la resistencia al corte, utilizando alguna correlación apropiada. Por ejemplo, la correlación entre la penetración por golpe (PDC) y el CBR que se muestra en la Tabla 2 ha sido derivada de una ecuación recomendada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, que se indica como sigue:

$$CBR = \frac{292}{(PDC)^{1.12}}$$

Los resultados del ensayo son los siguientes:

- Punto N°1

Índice de PDC= 6.98

$$CBR = \frac{292}{6.98^{1.12}}$$

$$CBR = 33.13\%$$

- Punto N°2

Índice de PDC= 8.74

$$CBR = \frac{292}{8.74^{1.12}}$$

$$CBR = 25.76\%$$

- Punto N°3

Índice de PDC= 5.92

$$CBR = \frac{292}{5.92^{1.12}}$$

$$CBR = 39.85\%$$

Como los resultados del CBR de la subrasante varían en los tres puntos ensayados, se tomara el valor más crítico para el diseño del espesor del pavimento rígido.

El valor de CBR de la subrasante para diseñar el pavimento será el siguiente:

$$CBR = 25.76\%$$

3.7. DISEÑO DE ESPESORES DEL PAVIMENTO RÍGIDO

3.7.1. DISEÑO DE ESPESOR DEL PAVIMENTO RÍGIDO CON HORMIGÓN CONVENCIONAL

En todo proyecto de pavimentos rígidos son tres los parámetros principales:

1) TRÁNSITO VEHICULAR

El tránsito de preferencia se determinará mediante aforos vehiculares, para así conocer la distribución de cargas por eje, y estimar de manera más acertada el número de ejes estándares que circularán por la vialidad en su vida útil de proyecto.

Los resultados del conteo para la determinación del Trafico Promedio Diario (TPD) se resumen en la siguiente tabla:

LUGAR	DESCRIPCIÓN	NÚMERO (Veh/día)	PORCENTAJE %
Barrio 24 de Junio	Autos	196	84.48
	Autobuses	9	3.88
	Camiones eje simples	23	9.92
	Camiones (2 ejes y 6 ruedas)	4	1.72
	TOTAL DE VEHICULOS	232	100

Tabla 3.14. TPD (TRÁFICO PROMEDIO DIARIO)

Fuente: Propio

Para el cálculo de ESAL's de diseño se consideró que el peso de los automóviles y camionetas será de 26.7 KN y el de los camiones más pesados, autobuses el peso de 106.8KN.

El resultado del ESAL's de diseño es el siguiente:

ESAL's de diseño	929364,719
	9,29x10 ⁵

2) RESISTENCIA DEL CONCRETO

El módulo de elasticidad es un parámetro que indica la rigidez y la capacidad de distribuir cargas que tiene una losa de pavimento. Es la relación entre la tensión y la deformación. Las deflexiones, curvaturas y tensiones están directamente relacionadas con el módulo de elasticidad del hormigón.

El módulo de elasticidad está relacionado con el módulo de rotura a través de la expresión:

$$f_r = 43.5 \frac{E_c}{10^6} + 488.5$$

Siendo:

E_c = módulo de elasticidad (psi)

f_r = módulo de rotura (psi)

$$f_r = 44.28 \text{ kg/cm}^2 = 629.81 \text{ psi}$$

$$E_c = 3.24 \times 10^6 \text{ psi}$$

3) CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE APOYO

En la guía de diseño AASHTO 1993, el módulo resiliente reemplaza al CBR como variable para caracterizar la subrasante, subbase y base.

De acuerdo a la experiencia en Latinoamérica, las ecuaciones que se presentan a continuación son las más utilizadas:

Para CBR entre 12 y 80 %

$$M_R = 22.1 * CBR^{0.55}$$

$$M_R = 22.1 * 25.76^{0.55} = 131.95 \text{ psi}$$

Teniendo todas las variables de diseño, mostrado en la siguiente tabla:

DESCRIPCIÓN	SIGNO	VALOR	UNIDAD
Modulo de elasticidad del hormigon	Ec	4,52 x 10 ⁶	psi
Modulo de reacción de la subrasante	k	131,95	psi
Resistencia media del concreto	S'c	629,78	psi
Coficiente de transmision de carga	J	2,5	
Coficiente de drenaje	Cd	1	
Confiabilidad	R	70	%
Desviación Estandar	So	0,34	
Nº de ejes simples 18 kips	W18	9,29x105	
Perdida por servicio	Δ Psi	2,5	

Tabla 3.15 Resumen de datos para el cálculo del espesor de la losa

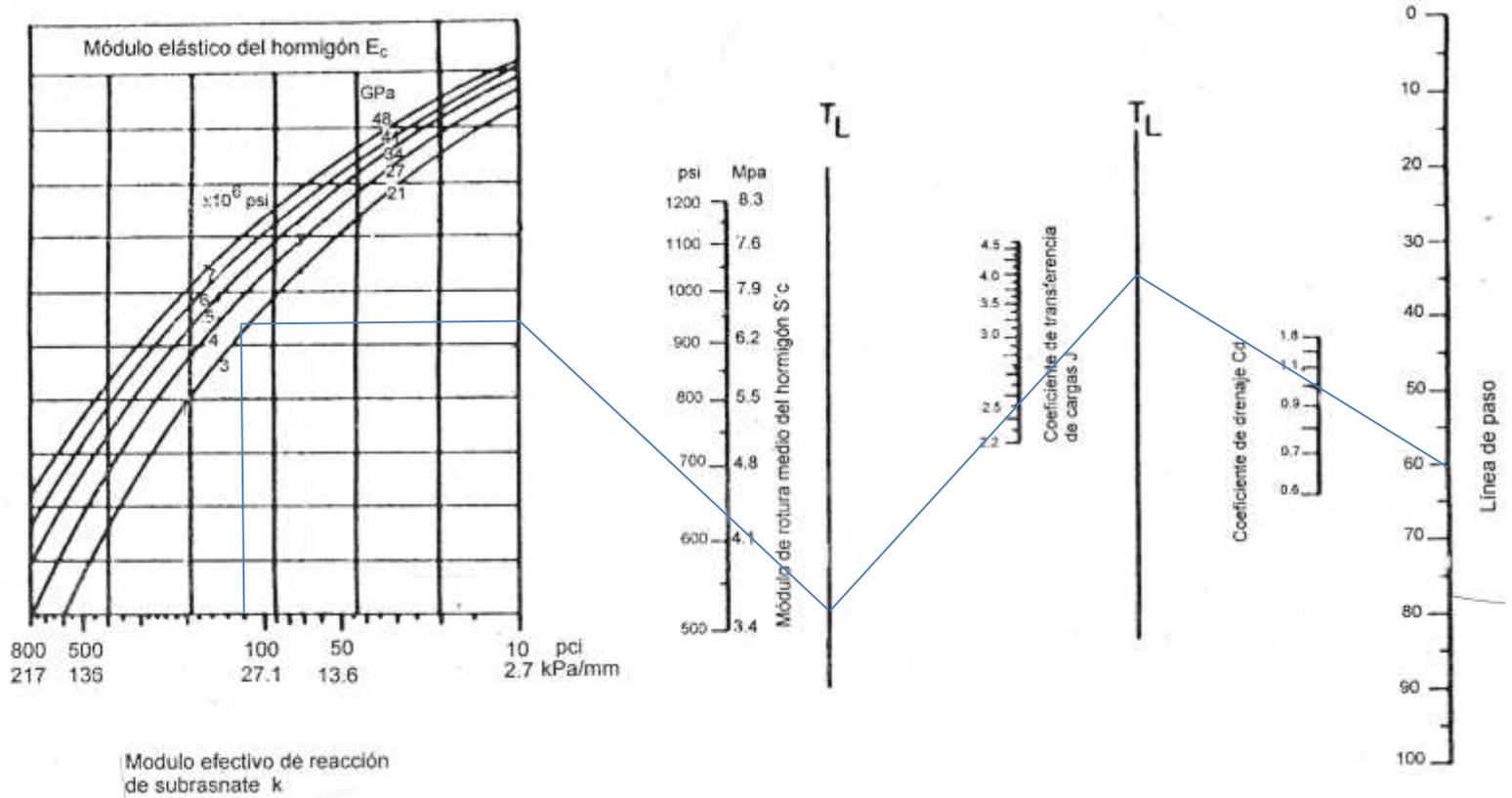
Fuente: Propia

Con estos valores, entramos a los ábacos de la AASHTO, dándonos un espesor de losa de:

$$D = 5.75 \text{ plg} = 14.605 \text{ cm}$$

$$\log W_{18} = Z_R S_o + 7,35 \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{4,5 \pm 1,5}{1,625 \times 10^7} (D+1)^{0,45}} + (4,22 - 0,32 p_i) \log \left[\frac{S_c \cdot C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J (D^{0,75} - 18,42 (k/E_c)^{0,25})} \right]$$

Figura 1: Abaco de diseño para pavimentos rígidos



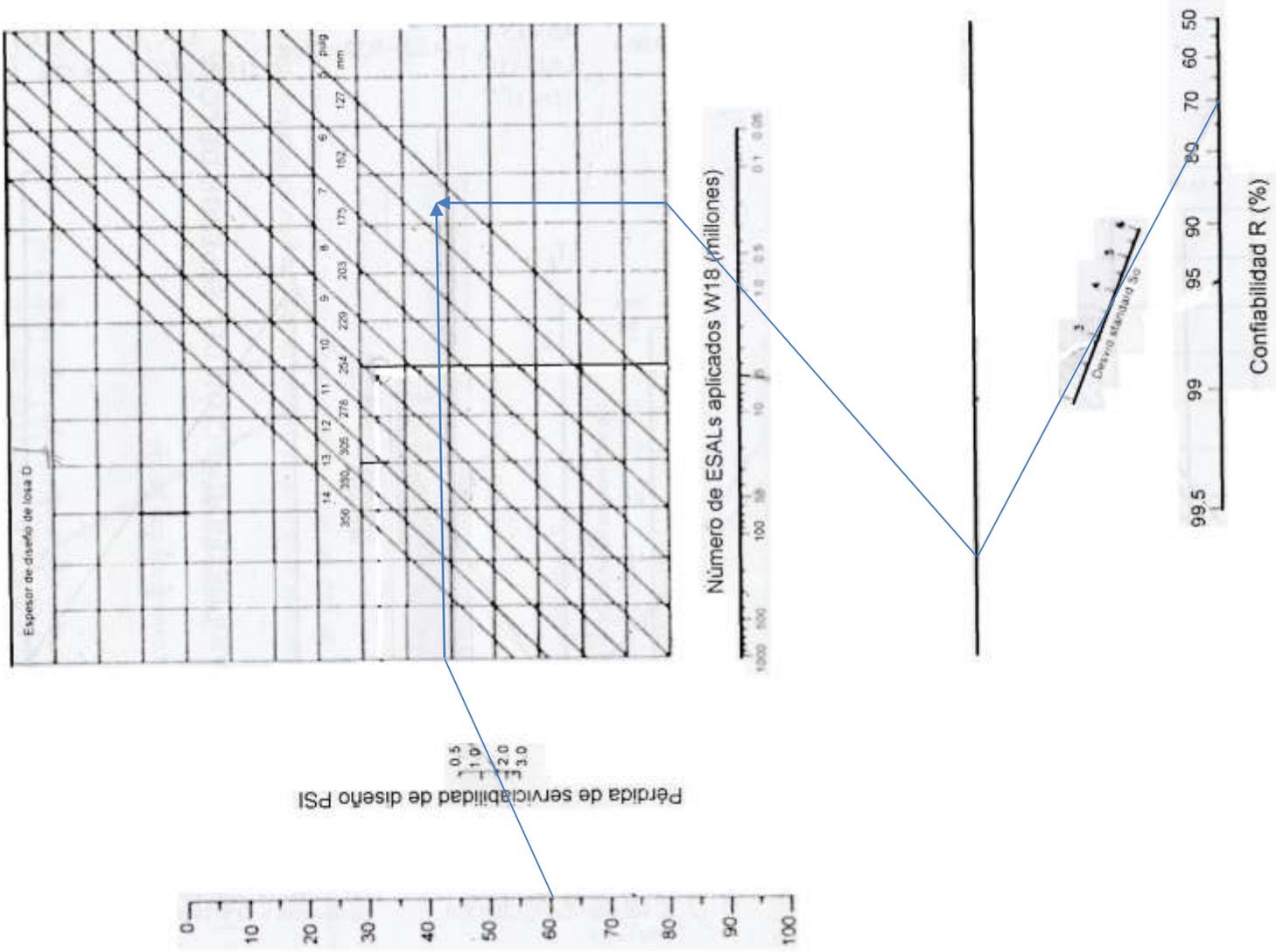


Figura . Abaco de diseño para pavimentos rígidos

3.7.2. DISEÑO DE ESPESOR DEL PAVIMENTO RÍGIDO CON HORMIGÓN REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO

En todo proyecto de pavimentos rígidos son tres los parámetros principales:

1) TRÁNSITO VEHICULAR

Para el diseño de espesor del pavimento rígido con hormigón reforzado con fibras de acero es igual que el calculado en el diseño de espesor de losa para un hormigón convencional y así realizar una comparación de los mismos.

El resultado del ESAL's de diseño es el siguiente:

ESAL's de diseño	929364,719
	9,29x10 ⁵

2) RESISTENCIA DEL CONCRETO

El módulo de elasticidad está relacionado con el módulo de rotura a través de la expresión:

$$f_r = 43.5 \frac{E_c}{10^6} + 488.5$$

Siendo:

E_c = módulo de elasticidad (psi)

f_r = módulo de rotura (psi)

$$f_r = 50.85 \text{ kg/cm}^2 = 723.26 \text{ psi}$$

$$E_c = 5.40 \times 10^6 \text{ psi}$$

3) CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO DE APOYO

Para poder realizar la comparación de espesores de la losa el valor del módulo resiliente de la subrasante debe ser la misma para ambos hormigones.

Para CBR entre 12 y 80 %

$$M_R = 22.1 * CBR^{0.55}$$

$$M_R = 22.1 * 25.76^{0.55} = 131.95 \text{ psi}$$

Teniendo todas las variables de diseño, mostrado en la siguiente tabla:

DESCRIPCIÓN	SIGNO	VALOR	UNIDAD
Modulo de elasticidad del hormigon	Ec	4,52 x 10^6	psi
Modulo de reacción de la subrasante	k	131,95	psi
Resistencia media del concreto	S'c	629,78	psi
Coficiente de transmision de carga	J	2,5	
Coficiente de drenaje	Cd	1	
Confabilidad	R	70	%
Desviación Estandar	So	0,34	
Nº de ejes simples 18 kips	W18	9,29x105	
Perdida por servicio	Δ Psi	2,5	

Tabla 3.16 Resumen de datos para el cálculo del espesor de la losa

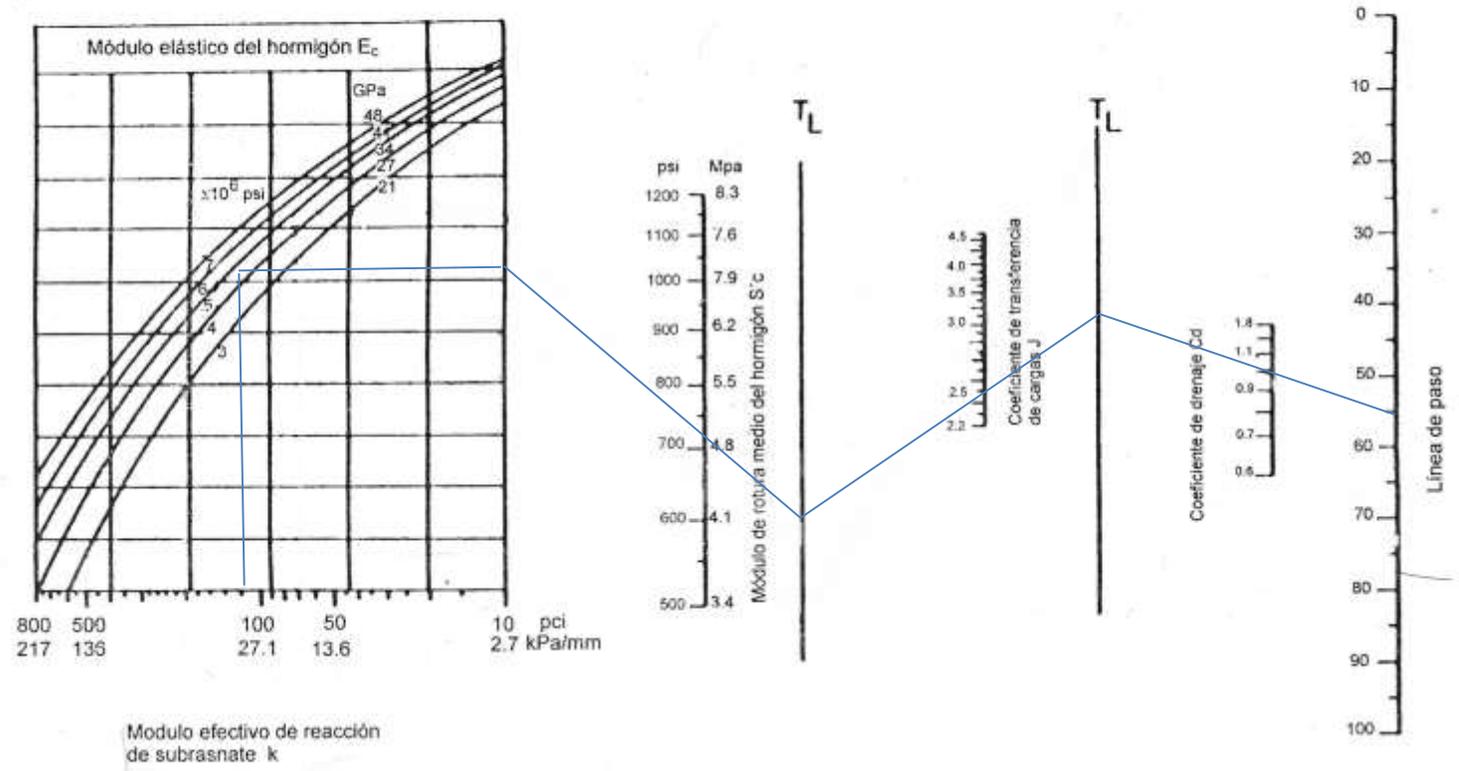
Fuente: Propia

Con estos valores, entramos a los ábacos de la AASHTO, dándonos un espesor de losa de:

$$D = 5 \text{ plg} = 12.7 \text{ cm}$$

$$\log W_{18} = Z_r S_w + 7,35 \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log(\Delta PSI)}{1 + \frac{4,5 \sqrt{1,5}}{1,625 \sqrt{10}^7}} + (4,22 - 0,32 p_r) \log \left[\frac{S_c C_d (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J (D^{0,75} - 18,42 (k/E_c)^{0,25})} \right]$$

Figura: Abaco de diseño para pavimentos rígidos



Modulo efectivo de reacción de subrasnate k

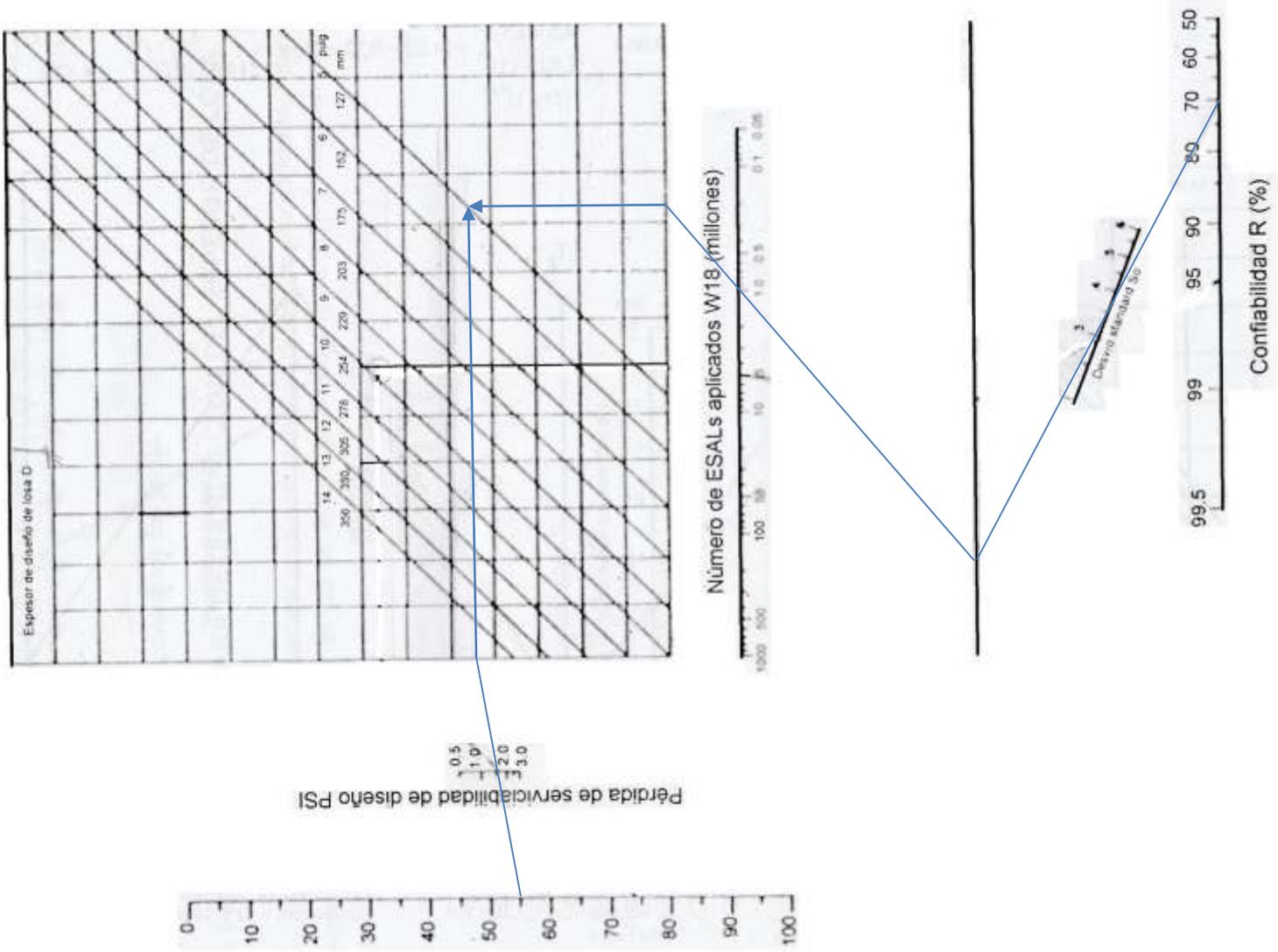


Figura . Abaco de diseño para pavimentos rígidos

3.8. DISEÑO DE ARMADURA DE REFUERZO EN PAVIMENTOS DE CONCRETO REFORZADO CON JUNTAS

Esta armadura de refuerzo, controla los agrietamientos por cambio de temperatura, no necesariamente aumenta la separación entre juntas y mantiene las fisuras unidas, conservando la transferencia de carga.

La cantidad de acero necesaria para mantener intactas las fisuras en los pavimentos de concreto reforzado con juntas, se calcula balanceando las fuerzas a lo largo de un plano horizontal, si se desarrolla una fisura, la resistencia al movimiento debe ser soportada por la tensión en el acero.

La cantidad necesaria de acero depende de tres factores:

- **Longitud de la losa:**

A medida que aumenta, se incrementa el área de contacto con el material de base, lo que aumenta el esfuerzo total resistente, generando mayores esfuerzos a medida que la losa se contrae.

- **Esfuerzo de trabajo del acero:**

Usualmente se toma como 75 % del esfuerzo de fluencia.

- **Factor de fricción:**

Representa la resistencia a la fricción entre la parte inferior de la losa y la superior del

La cantidad requerida de refuerzo por unidad de ancho o largo de la losa será:

$$A_s = \frac{(\gamma_c * h * L * f_a)}{2 * f_s}$$

γ_c =Peso unitario del concreto

h= Espesor de la losa

L= longitud de la losa

Fa= Factor de fricción

Fs= Esfuerzo admisible del acero

Armadura requerida en sentido longitudinal

El acero tiene fs= 43000psi (6192000)

$$A_s = \frac{(150 * 0.48 * 30 * 1.5)}{2 * 6192000}$$

$$A_s = \frac{0.00026\text{pie}^2}{\text{pie}} \text{ de ancho}$$

Armadura requerida en sentido transversal

$$A_s = \frac{(150 * 0.48 * 26.30 * 1.5)}{2 * 6192000}$$

$$A_s = \frac{0.00023\text{pie}^2}{\text{pie}} \text{ de largo}$$

Armadura necesaria para m²

$$A_s = \frac{0.0012\text{plg}}{\text{pie}^2} = \frac{0.0129\text{plg}}{\text{m}^2}$$

Para un diámetro de 0.5 plg

$$A_s = \frac{0.00033\text{m}}{\text{m}^2} = 0.00029 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

3.9. INGENIERÍA DE COSTOS

3.9.1. ELEMENTOS DEL COSTO DE PRODUCCIÓN

El costo de producción está constituido de manera general de tres elementos o componentes: Materiales, mano de obra y gastos indirectos de producción y fabricación.

3.9.1.1. MATERIALES

Es el primer componente del costo, su importancia es relevante en la formación del costo total de producción elaborado, se considera el elemento básico.

3.9.1.2. MANO DE OBRA

Es el segundo componente o elemento del costo su importancia revela en el esfuerzo físico mental del hombre que se emplea para la fabricación de una unidad de producto, se refiere a los de salarios pagables al personal dependiente de la empresa, para transformar el material directo en un producto acabado. Sin el factor humano que interviene en la población por mecanizada que pudiera estar una industria, sería imposible realizar la transformación.

La mano de obra se divide en dos partes: mano de obra directa y mano de obra indirecta.

3.9.1.3. GASTOS INDIRECTOS DE PRODUCCIÓN

Este tercer componente de costo de producción, se refiere a aquellos gastos que no son aplicables directamente al costo de un producto en particular, o que pueden identificarse con unidades específicas o con un departamento o proceso, tales como: materiales indirectos, mano de obra indirecta, luz, agua, material de limpieza, escritorio y otros.

3.9.2. FACTORES DEL PROYECTO

Como herramientas menores se tomará en cuenta el 5 % del total ganado por el trabajador, por otro lado, están los beneficios sociales como:

- ✓ 1.71% sobre el total ganado por prima del segundo de invalidez y muerte causados por riesgo común.
- ✓ 0.5% sobre el total ganado por concepto de comisión de administración para las AFPs.

Estos factores se suman y se tiene 12.21% que serán nuestros beneficios sociales.

Además se tiene:

- ✓ Mano de obra indirecta: se tomará el 10% del total ganado del trabajador
- ✓ Gastos generales; se tomará el valor 10% del total de los materiales, mano de obra y equipo usado.

3.9.2.1. REGIMEN COMPLEMENTARIO RC IVA

Es originado en las compras, contrataciones o importaciones definitivas, se calcula aplicando la alícuota del 13 % sobre el importe total de las compras netas, según el D.S. N° 26077.

3.9.2.2. IMPUESTOS A LAS TRANSACCIONES

Es un impuesto que recae al ejercicio de comercio, industria, profesión, negocio, oficio. Alquiler de bienes muebles o inmuebles, obras de servicio de toda índole. La alícuota es del 3% sobre el total de las transferencias según D.S. N° 26077.

3.9.2.3. RENDIMIENTO

Es un parámetro de medición que tiene por objeto medir exactamente cuándo se tarda en realizar una determinada actividad, sus unidades están en (horas/volumen).

3.9.3. ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

El análisis de precios unitarios se lo realizó tanto para el pavimento convencional y el pavimento reforzado con fibras.

Donde el resultado de total de precio por m² para el pavimento convencional, con una resistencia a flexotracción de 44.28 kg/cm², es el siguiente:

TOTAL PRECIO UNITARIO: Bs	357,05
----------------------------------	---------------

Y el resultado de total de precio por m² para pavimento reforzado con fibras de acero, con una resistencia a flexotracción de 50.85 kg/cm², es el siguiente:

TOTAL PRECIO UNITARIO: Bs	332.27
----------------------------------	---------------

Y el resultado de total de precio por m² para pavimento reforzado con fibras de acero, con una resistencia a flexotracción de 44.28 kg/cm², es el siguiente:

TOTAL PRECIO UNITARIO: Bs	344.42
----------------------------------	---------------

CAPÍTULO IV

Capítulo IV

ANÁLISIS E INTERPETRACIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

De acuerdo a los materiales utilizados se llegó a las siguientes conclusiones:

- El tipo de cemento empleado fue cemento “EL PUENTE” IP-30, el cual cumplió con todas las especificaciones, ya que no presentó ninguna alteración o efecto negativo durante los ensayos de concreto fresco.
- El agregado fino proveniente de la Cantera “San Luis”, el agregado fino presentó un módulo de fineza de 2,41 encontrándose en el rango especificado por la norma ASTM de 2,2 a 3,1 garantizando que el material presenta una granulometría bien graduada, y el porcentaje que pasa el tamiz N°200 está por debajo del máximo de 3%. Las características del material empleado cumplieron con todas las especificaciones para elaborar un pavimento rígido.

Nª de malla	% que pasa	Especificación tabla 4.3 Intervalos	
Nª4	100,00	95,00	100,00
Nª8	88,08	80,00	100,00
Nª16	75,27	50,00	85,00
Nª30	59,42	25,00	60,00
Nª50	29,83	10,00	30,00
Nª100	7,92	0,00	10,00
Base	0,00		

Tabla 4.1 Porcentaje en peso que pasa del agregado fino

Fuente: Propia

Porcentaje que pasa tamiz N°200	2.53 %
----------------------------------------	--------

Tabla 4.2 Porcentaje que pasa tamiz N°200

Fuente: Propia

Tabla 2.3 Granulometría recomendada en la arena	
Denominación de la malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo
3/8 "	100
No. 4	95 - 100
No. 8	80 - 100
No. 16	50 - 85
No. 30	25 - 60
No. 50	10 - 30
No. 100	0 - 10

Requisitos adicionales:

Módulo de finura:	2.2 a 3.1
Materiales que pasan la malla No. 200 (0.074mm)	3 % máximo
Carbón:	1.0 %
Partículas deleznable:	3 % máximo
Impurezas orgánicas, referidas a color límite según patrón	amarillo claro

Tabla 4.3 Normas de calidad del agregado fino

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos

- El agregado grueso proveniente de la Cantera “San Luis” presentó una granulometría muy bien graduada, con un tamaño máximo de 1 1/2”. Las características del material empleado cumplió con todas las especificaciones para elaborar un pavimento rígido.

N ^o de malla	% que pasa	Especificación tabla 4.5 Intervalos	
2"	100,00	100	100
1 1/2"	96,97	90	100
1"	84,44	-	-
3/4"	66,13	35	70
1/2"	37,32	-	-
3/8"	21,36	10	30
Base	0,00	0	5

Tabla 4.4 Porcentaje en peso que pasa del agregado grueso

Fuente: Propia

Tabla 2.2 Normas de calidad (Granulometría)			
Denominación de la Malla (de acuerdo a la ASTM)	Porcentajes en peso que pasa, según el tamaño máximo		
	2.5 cm (1")	1 1/2" (4 cm)	5 cm (2")
2 1/2"	-	-	100
2"	-	100	90 - 100
1 1/2"	100	90 - 100	-
1"	90 - 100	-	35 - 70
3/4"	-	35 - 70	-
1/2"	25 - 60	-	10 - 30
3/8"	-	10 - 30	-
No 4	0 - 10	0 - 5	0 - 5
No 8	0 - 5	-	-

Requisitos adicionales:

Desgaste Los Angeles:	40 % máximo
Materiales que pasa la malla No. 200 (0.074mm)	0.50 máximo
Carbón	1.0 % máximo
Otras sustancias y fragmentos blandos	5.0 % máximo

Tabla 4. Normas de calidad del agregado grueso

Fuente: Guía Para el Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos

- Para el presente informe se empleó agua potable para el curado y mezclado de las muestras.
- Para los ensayos realizados se utilizaron las fibras WIRAND FF1, con una longitud de 50 mm, diámetro de 1 mm, su relación de aspecto de es 50 y su forma de presentación es suelta. Estas fibras presentan dobleces en sus extremos, para mejorar la adherencia y anclaje.

4.2. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE TRABAJABILIDAD

Con el ensayo de trabajabilidad se logra apreciar una clara influencia de la presencia de las fibras de acero en el concreto fresco, donde se observa menor trabajabilidad en el concreto reforzado con fibras de acero en comparación con el concreto convencional; siendo esta propiedad favorable en la etapa de construcción de la carpeta de pavimento rígido. *La consistencia del hormigón para pavimentación debe estar comprendido entre 4 +/- 1 cm y entre 3 +/- 1cm en el pie de la pavimentadora deslizante, esta consistencia permite un movimiento suave de la regla vibratoria y facilita el alisado y terminado.*¹

Se observa, que la mezcla de hormigón convencional el asentamiento es mayor que el asentamiento de la mezcla del hormigón reforzado con fibras de acero con una diferencia de 1.96 cm. Todos los ensayos realizados estuvieron dentro del rango de consistencia (2.5cm a 7.5cm) para pavimentos de acuerdo al diseño de mezcla de la Norma ACI.

El promedio de la consistencia del pavimento convencional está dentro del rango de 5cm a 3cm, según las recomendaciones para pavimentos rígidos del instituto boliviano del cemento y el hormigón; otorgándole mejor cohesión al hormigón que facilita el alisado y el terminado al realizar el pavimento rígido.

¹ Recomendaciones Constructivas para pavimentos rígidos, Instituto Boliviano del Cemento y el Hormigón.

Los resultados del ensayo se muestran en la tabla N° 4.6 y su representación gráfica en el gráfico N° 4.1.

HORMIGON	PAVIMENTO CONVENCIONAL	PAVIMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO	RECOMENDACIÓN PARA PAVIMENTOS SEGÚN IBCH
PROMEDIO DE ASENTAMIENTO	4.74 cm	2.78 cm	5cm a 3cm
DESVIACION ESTANDAR	0.22	0.22	

Tabla 4.6 Resultados de asentamiento

Fuente: Propia

Observando la desviación estándar nos indica que los valores no se encuentran dispersados por lo tanto el promedio de los asentamientos tanto para el concreto convencional y el concreto reforzado con fibras de acero es representativo.

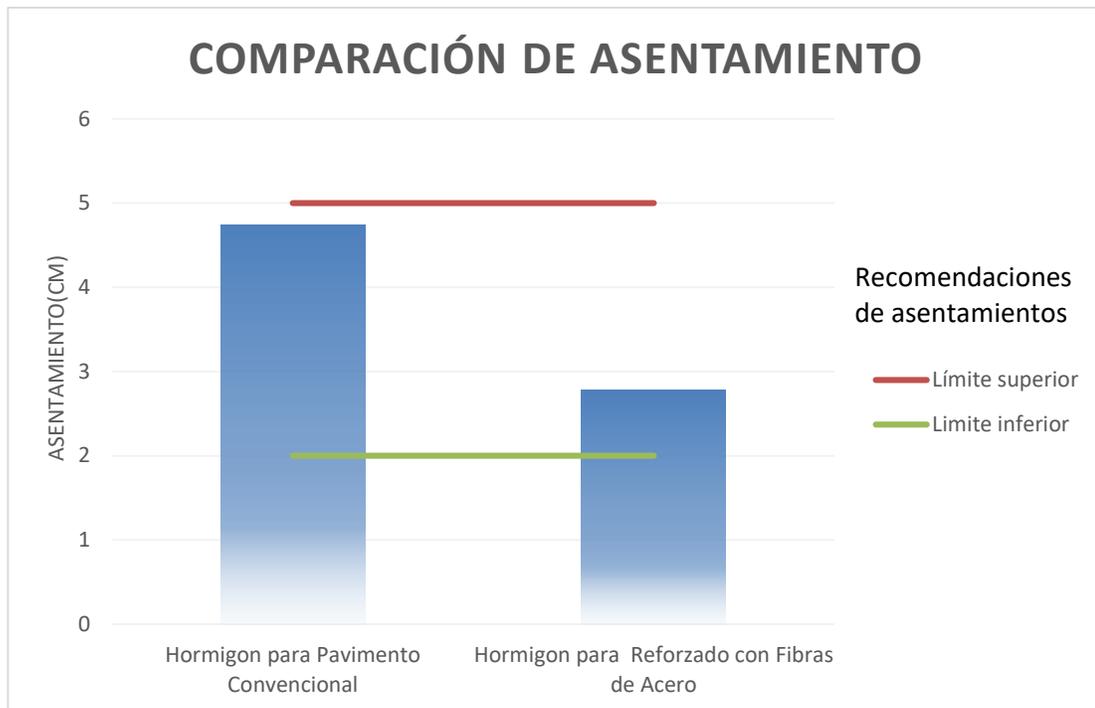


Figura 4.1 Comparación de asentamiento

Fuente: Propia

Para que el vibrado proporcione sus máximos beneficios, la consistencia del hormigón debe ser seca o ligeramente plástica (2cm a 5cm). Si la plasticidad es excesiva, el vibrado no proporciona ningún efecto apreciable de consolidación y, en vez de mejorar la calidad del hormigón, puede producir segregación.

Se observa que tanto el promedio de la consistencia del pavimento convencional y el reforzado, están con una consistencia seca a plástica, y que la influencia de las fibras de acero al pavimento permitirá una mejor vibración dando como resultado mezclas más rígidas y también más ásperas.

4.3. ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE FLEXOTRACCIÓN.

Los ensayos de flexión son extremadamente sensibles a la preparación, manipulación y procedimientos de curado de las probetas prismáticas. Las vigas son muy pesadas y

pueden ser dañadas cuando se manipulan y transportan desde el lugar de trabajo hasta las pozas de curado.

La resistencia a flexotracción usualmente especificada es de 4.5 MPa a los 28 días, según recomendaciones constructivas para pavimentos rígidos por el instituto boliviano del cemento y el hormigon.

Según la “Guía para el diseño y construcción de pavimentos rígidos” Resistencia media especificada a los 28 días. Tiene mayor relevancia en vías rápidas, viaductos, autopistas y vías principales. Normalmente se pide Modulo de rotura a flexotracción a 42 kg/cm² (4.12 MPa) a los 28 días.

Para poder realizar un análisis de las resistencias a flexotracción, se hace un promedio de las resistencias encontradas en dos bibliografías.

A continuación se presenta un cuadro con los valores promedio de las diferentes muestras tomadas:

HORMIGÓN	PAVIMENTO CONVENCIONAL	PAVIMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO	RESISTENCIA ESPECIFICADA
RESISTENCIA A FLEXOTRACCIÓN	4.34 MPa	4.98 MPa	4.31 MPa
DESVIACIÓN ESTANDAR	1.55	2.42	

Tabla 4.7 Resistencia Promedio a la Flexión

Fuente: Propia

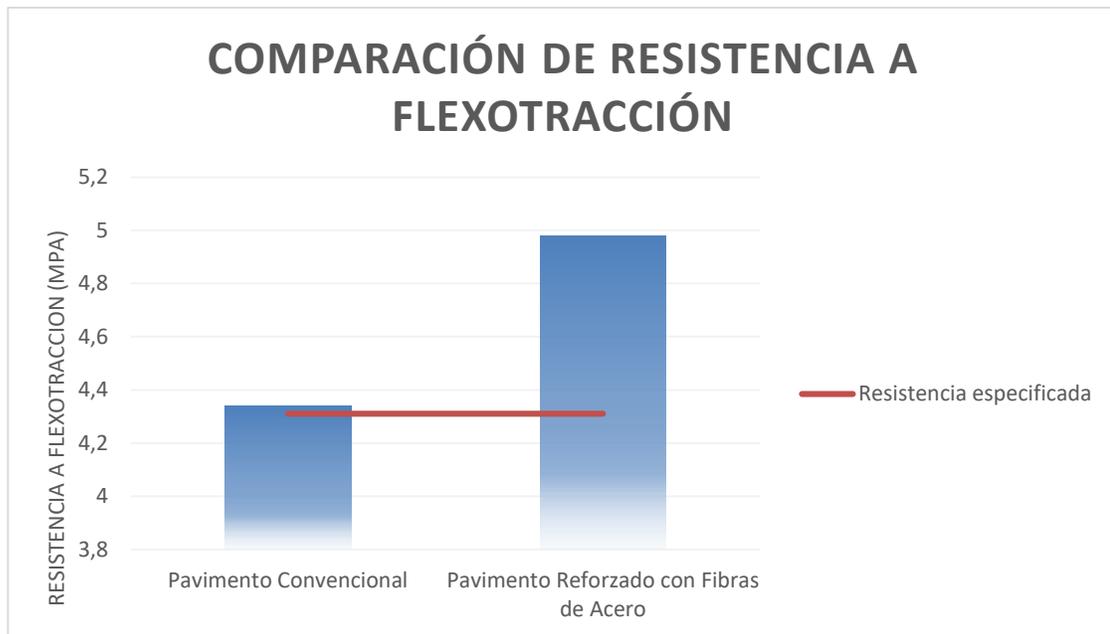


Figura 4.2 Comparación de resistencia a flexotracción

Fuente: Propia

Se observa que el promedio de la resistencia a flexotracción del pavimento convencional y el pavimento reforzado está por encima de la resistencia recomendada.

Observamos que en los ensayos de flexotracción existe un incremento del 14.84 % en la resistencia del pavimento con fibras de acero frente al pavimento convencional, es necesario recordar que ambos hormigones para pavimentos fueron realizados con las mismas características de materiales, dosificación, tiempo de curado.

Al realizar el ensayo se observó que las vigas de hormigón convencional cuando se produjo la rotura ésta se partió, demostrando su comportamiento de un material frágil, estas fisuras que se convirtieron en rotura se produjeron en el tercio central de la viga, indicando que los materiales se encontraban uniformemente distribuidos.

Mientras en las vigas de hormigón reforzado con fibras de acero cuando se produjo la rotura sólo se observó una fisura, sin provocar una rotura de la viga, esto se debe a que las fibras de acero cumplía la función de unir el hormigón, y actuando como puentes

de transferencia de tensiones, evitando que la fisura vaya creciendo, otorgando mayor resistencia al hormigón.



Fot.4.1. Ensayo de flexotracción del concreto convencional



Fot.4.2. Ensayo de flexotracción del concreto reforzado con fibras de acero

Con la incorporación de fibras de acero a un pavimento convencional le otorga mayor resistencia a la flexotracción al pavimento, coadyuvando a la obtención de un menor espesor de losa para un pavimento rígido, reducción de los materiales que beneficiará a un menor costo, también beneficia a la reducción de las fisuras provocadas por la retracción, de esta manera se mejora la calidad del hormigón incrementando su durabilidad del pavimento.

Las resistencias a flexotracción del pavimento convencional y el reforzado son mayores a la resistencia especificada, por lo que esta resistencia controla el agrietamiento del pavimento rígido bajo las cargas repetitivas de los camiones.

El módulo de rotura del hormigón, este valor tiene un gran efecto en el espesor de la losa, por lo que es un valor que debe ser correctamente medido para evitar un resultado que este sobre o subdimensionado.

4.4. ANÁLISIS DE LOS ESPESORES DE LOSA

Se realizó una comparación de espesores de losas utilizando el método ASSHTO. Para ello se calculo todos los datos necesarios .

El cálculo del espesor de la losa, D, fue calculado con los ábacos de diseño para pavimento rígido, que obedece la siguiente ecuación:

$$\log W_{18} = Z_r \times S_o + 7,35 \times \log(D+1) - 0,06 + \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5}\right)}{1 + \frac{1,624 \times 10^{-7}}{(D+1)^{3,48}}} + (4,22 - 0,32 p_t) \log \left[\frac{S_c \times Cd (D^{0,75} - 1,132)}{215,63 J \left(D^{0,75} - \frac{18,42}{(Ec/k)^{0,25}} \right)} \right]$$

Según norma AASHTO 93, los espesores de la carpeta de pavimentos varían de acuerdo al uso previsto:

- Para calles de urbanizaciones residenciales, varían entre 10 y 15 cm.
- Para calles colectoras, varían entre 15 y 17 cm.
- En carreteras y autopistas 20 cm o mas.

Estos espesores calculados son valores teóricos, y son dimensiones pequeñas pero esto se debe a que el tráfico vehicular en esa calle es mínima y no existe circulación de tráfico pesado, por esta razón clasifica en calles de urbanizaciones residenciales.

Los resultados obtenidos del espesor de las losas son los siguientes:

TIPO	RESISTENCIA A FLEXIÓN	ESPEORES
PAVIMENTO CONVENCIONAL	44.28 kg/cm ²	14.605 cm
PAVIMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO	44.28 kg/cm ²	14.605 cm
PAVIMENTO REFORZADO CON FIBRAS DE ACERO	50.85 kg/cm ²	12.7 cm
RECOMENDACIÓN DE ESPESOR SEGÚN AASHTO 93 (Para calles residenciales)		10 a 15 cm

Tabla 4.8 Resultados de los espesores de la losa

Fuente: Propia

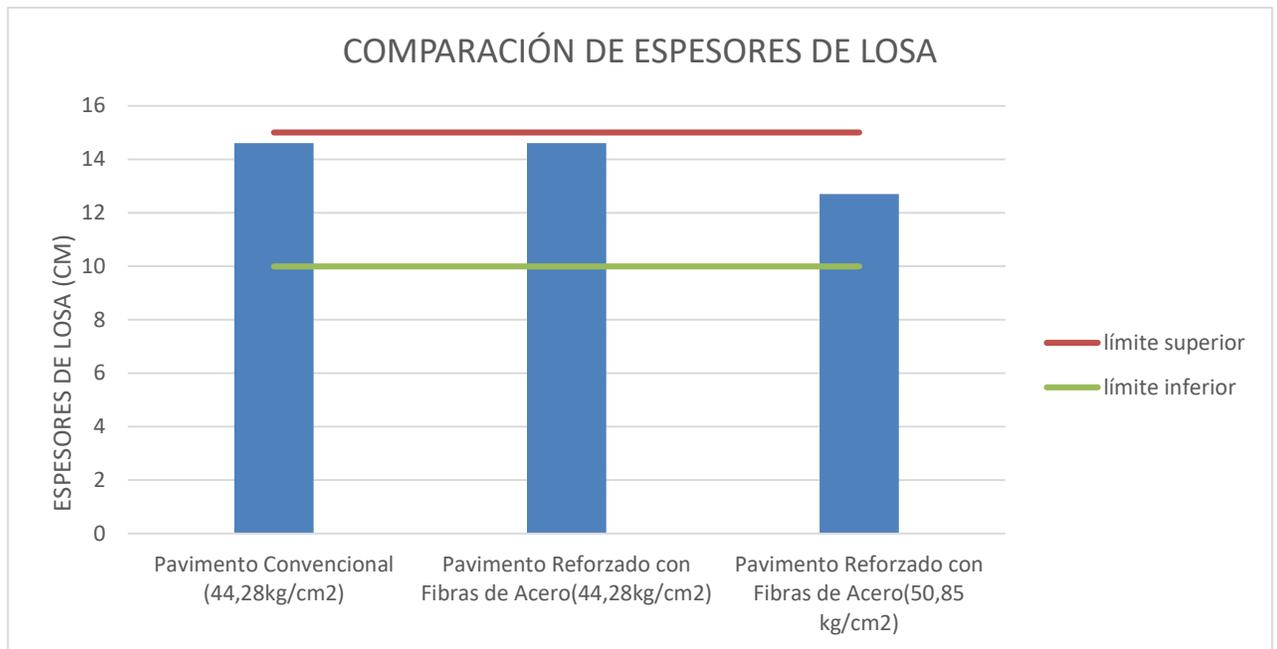


Figura 4.4 Comparación de espesores de losa

Fuente: Propia

Como se observa los espesores de losa de los pavimentos tanto el convencional y el reforzado están dentro de las recomendaciones de la norma AASHTO, también es importante mencionar que se calcularon los espesores de pavimento convencional y reforzado con la misma resistencia flexotracción (44.28 kg/cm²).

Debido a que los espesores de los pavimentos se calcularon con la norma AASHTO, y para realizar una comparación se tomaron los mismos parámetros de diseño, por lo tanto al diseñar con la misma resistencia a flexotracción se obtuvo el mismo espesor tanto para el convencional y el reforzado.

También se consideró diseñar el espesor de capa de rodadura con la única variación del módulo de rotura y el módulo elástico del hormigón; debido a que la dosificación para ambos hormigones es la misma; y las fibras de acero le otorgaron al hormigón reforzado una mayor resistencia a flexotracción.

Comparando los espesores calculados, puede deducirse que la introducción de una cuantía media de fibras de acero (25 kg/m^3), reduce el espesor de la losa en 1.905 cm, tomando en cuenta una misma dosificación.

La adición de las fibras de acero, otorgan al pavimento reforzado una disminución del material a utilizar, es decir que para llegar a la misma resistencia a flexotracción del pavimento convencional lo logramos con una reducción importante de material, por lo tanto el costo total del hormigón reforzado con fibras reduciría.

También es importante mencionar que las fibras de acero nos da una reducción en el tiempo de realización del pavimento, por su fácil manejo del hormigón.

4.5. ANÁLISIS DE LOS COSTOS

Se realizó los análisis de precios unitarios del hormigón convencional y el hormigón reforzado con fibras para 1 m^2 de mezcla, dándonos los resultados finales, que son los siguientes:

El resultado de total de precio por m^2 para un pavimento convencional, con una resistencia a flexotracción de 44.28 kg/cm^2 , es el siguiente:

TOTAL PRECIO UNITARIO: Bs	357.05
----------------------------------	---------------

Y el resultado de total de precio por m^2 para pavimento reforzado con fibras de acero, con una resistencia a flexotracción de 50.85 kg/cm^2 , es el siguiente:

TOTAL PRECIO UNITARIO: Bs	332.27
----------------------------------	---------------

Y el resultado de total de precio por m^2 para pavimento reforzado con fibras de acero, con una resistencia a flexotracción de 44.28 kg/cm^2 , es el siguiente:

TOTAL PRECIO UNITARIO: Bs	344.42
----------------------------------	---------------

Como se puede observar en los precios que tienen una misma resistencia de flexotracción de 44.28 kg/cm^2 , se aprecia que existe una diferencia de 12.63 Bs, siendo más costoso el hormigón convencional, donde no existe una gran diferencia de los costos para la realización de los pavimentos y existe una diferencia pequeña en la cantidad de materiales a utilizar, donde existe una mayor diferencia de precios es en el personal a utilizar.

Al realizar una comparación entre el pavimento convencional y el reforzado a distintas resistencias, se aprecia una diferencia de 24.78 Bs, donde existe una reducción mayor en los materiales gracias a la reducción del espesor del pavimento.

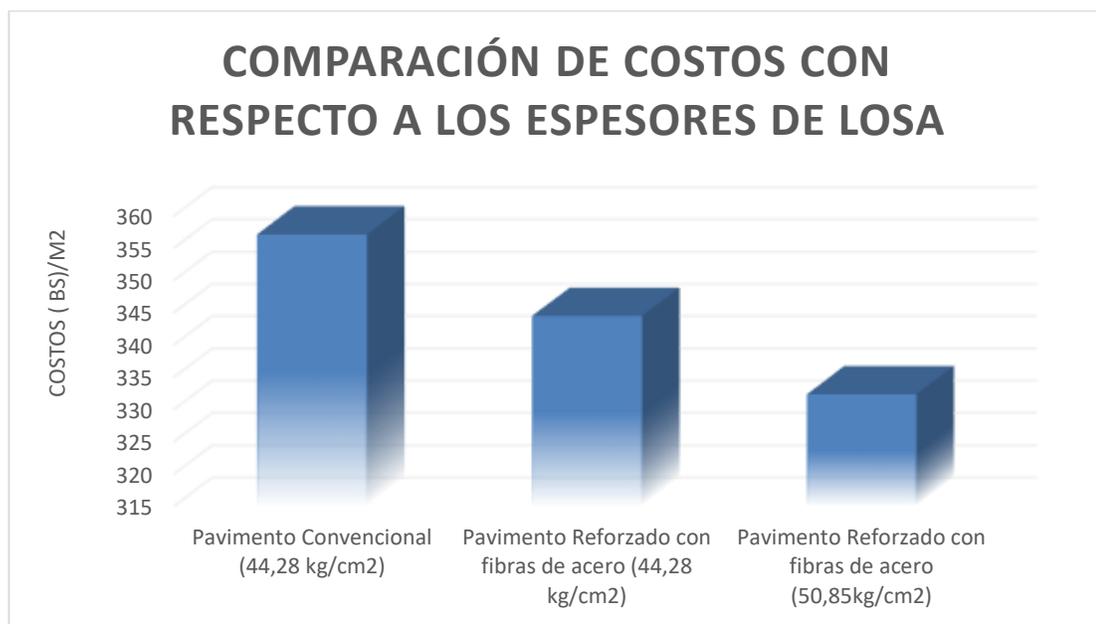


Figura 4.5 Comparación de costos con respecto a los espesores de losa

Fuente: Propia

Al realizar estas comparaciones, se puede apreciar una reducción del costo que no es tan significativa, esta reducción de costos se debe a la reducción de la cantidad de los

materiales, disminución del personal que se encarga del armado de las armaduras necesarias.

Ya que las fibras de acero son de fácil aplicación en la construcción de pavimentos, y éstas actúan como una micro armadura evitando el uso de la armadura y el personal para realizar dicha armadura en el pavimento.

También es importante mencionar que las fibras de acero en el pavimento reducen el tiempo de ejecución del mismo, lo que permite optimizar el tiempo.

CAPÍTULO V

Capítulo V

CONCLUSIONES Y RESULTADOS

5.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones del presente trabajo son las siguientes:

- Se cumplió con el objetivo planteado en el presente trabajo, obteniendo en laboratorio las propiedades mecánicas de un hormigón convencional y un hormigón reforzado con fibras de acero, pudiendo evaluar las ventajas que brindan las fibras de acero en la realización de pavimentos rígidos.
- La incorporación de fibras de acero, tiene una serie de efectos que son beneficiosos en la realización de pavimentos rígidos sobre las propiedades del concreto en estado fresco, destacando una reducción del asentamiento del hormigón reforzado de 1.957 cm frente al asentamiento del hormigón convencional; estos hormigones están dentro del rango de trabajabilidad para el uso de pavimento (seca o ligeramente plástica); donde la pérdida de trabajabilidad en el concreto con fibras de acero aumenta la cohesión del

concreto, que ofrece ventajas constructivas en el pavimento rígido, en el proceso de vibración, dando mejor acabado y evitando la segregación del mismo .

- En cuanto a la resistencia a la flexión, se aprecia claramente el aumento de este valor en un 14.84% del hormigón con fibras de acero frente al hormigón convencional. Se concluye entonces que la adición de fibra de acero es un factor relevante en el aumento de la resistencia a la flexión del concreto.
- Con el aumento a la resistencia a la flexión, que es muy beneficioso en el diseño del espesor de la losa para pavimentos rígidos y al realizar los diseños de los espesores de losa por el método ASSHTO, se observó una reducción del espesor de 1.905 cm al utilizar las fibras de acero (utilizando las resistencias a flexotracción que nos brindó los ensayos de las vigas confeccionadas con la misma dosificación).

Cuando se compara el espesor de losa del pavimento que se diseñaron con la misma resistencia, no existe ninguna variación, debido a que la única variable era la resistencia del hormigón.

- El costo del hormigón convencional y el hormigón reforzado con fibras de acero tienen una diferencia de 12.63 bs por metro cuadrado, resultando ser más caro el hormigón convencional, estos resultados son los que se compararon con la misma resistencia a flexotracción.

Existe una diferencia de 24.78 bs por metro cuadrado, resultando más caro el hormigón convencional, cuando se comparó los pavimentos con las resistencias de flexotracción obtenidas en ensayos.

Donde se concluye que con la adición de las fibras de acero existe una reducción en la cantidad de materiales, por esta razón existe una disminución en los costos de pavimentos.

5.2. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones son las siguientes:

- Se recomienda que para el proceso de mezclado, se debe añadir las fibras junto con los agregados, ya sea todo en conjunto o al final de todo los materiales, más no al inicio de la mezcla, ya que esto ocasiona que las fibras no se distribuyan bien en el mezclado.
- Según la norma UNI 11039 recomienda una dosificación por lo menos de 25kg de fibra por m³ de concreto, por lo que se usó para este diseño esa recomendación.
- Se recomienda que al almacenar las fibras de acero antes de su utilización, se las debe proteger contra la lluvia, ya que puede causar oxidación en las fibras e influir en sus propiedades, reduciendo las propiedades que le otorga al hormigón convencional.
- La utilización apropiada del concreto reforzado con las fibras de acero dependen en gran parte del uso que se le dará al pavimento, y donde se puede aprovechar las características mejoradas del concreto bajo carga dada para una aplicación determinada y eficiencia del menor costo de la adición de fibras.

