

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



**Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de pavimentos rígidos  
fibroreforzados con acero, incorporando microsílíce y polícarboxilato,  
Lambayeque 2022**

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

**AUTOR**

**Brayan Humberto Coronado Uriarte**

**ASESOR**

**Manuel Alejandro Borja Suarez**

<https://orcid.org/0000-0002-6532-4976>

**Chiclayo, 2023**

**Evaluación de las propiedades físico-mecánicas de pavimentos  
rígidos fibroreforzados con acero, incorporando microsílíce y  
policarboxilato, Lambayeque 2022**

PRESENTADA POR

**Brayan Humberto Coronado Uriarte**

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

**INGENIERO CIVIL AMBIENTAL**

APROBADA POR

Segundo Guillermo Carraza Cieza  
PRESIDENTE

Luis Quiroz Quiñonez  
SECRETARIO

Manuel Alejandro Borja Suarez  
VOCAL

## **Dedicatoria**

Dedico mi proyecto de investigación a mi familia, principalmente a mi madre Ericka Uriarte por darme su apoyo incondicional y estar para mí en los momentos que más la he necesitado, a mi padre Marco Coronado por brindarme apoyo moral y ayudarme a crecer como persona con sus consejos y con el ejemplo. A mi abuela Eugenia por cuidar de mí siempre, y a mi hermana Sonia por acompañarme en mi proceso.

## **Agradecimientos**

Agradezco a Dios por darme salud y fuerzas para continuar con mi carrera profesional y a mi familia en general.

A mi madre por costearme mi carrera universitaria y no darse por vencida hasta culminarla.

A mi asesor por acompañarme en este proceso y darme las recomendaciones y pautas para lograr este proyecto.

## Turnitin tesis coronado

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>22%</b>	<b>22%</b>	<b>8%</b>	<b>9%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>10%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>4%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Cesar Vallejo</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.urp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>6</b>	<b>vsip.info</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>7</b>	<b>Submitted to Universidad Tecnologica del Peru</b> Trabajo del estudiante	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.uss.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>Submitted to Universidad Ricardo Palma</b> Trabajo del estudiante	

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>12</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>13</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>14</b>
<b>Revisión de literatura.....</b>	<b>17</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>17</b>
<b>Bases Teóricas.....</b>	<b>19</b>
<b>Policarboxilato .....</b>	<b>23</b>
<b>Metodología para el diseño de mezcla .....</b>	<b>24</b>
<b>Selección de la resistencia requerida(<math>f'c</math>) .....</b>	<b>24</b>
<b>Selección de tamaño nominal: .....</b>	<b>25</b>
<b>Selección del asentamiento .....</b>	<b>25</b>
<b>Determinación de volumen de agua.....</b>	<b>25</b>
<b>Selección del contenido de aire.....</b>	<b>25</b>
<b>Selección relación Agua-Cemento.....</b>	<b>26</b>
<b>Cálculo del contenido del cemento.....</b>	<b>26</b>
<b>Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados .....</b>	<b>26</b>
<b>Correlación de humedad de agregados .....</b>	<b>26</b>
<b>Cálculo agua efectiva .....</b>	<b>27</b>
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>27</b>
<b>Hipótesis .....</b>	<b>27</b>
<b>Hipótesis general .....</b>	<b>27</b>
<b>Hipótesis específicas .....</b>	<b>27</b>
<b>Operacionalización de variables .....</b>	<b>28</b>
<b>Diseño de investigación .....</b>	<b>28</b>

<b>Población .....</b>	<b>29</b>
<b>Muestra .....</b>	<b>29</b>
<b>Muestra para resistencia a compresión.....</b>	<b>29</b>
<b>Muestra para módulo de ruptura .....</b>	<b>29</b>
<b>Técnicas, instrumentos y recolección de datos .....</b>	<b>30</b>
<b>Técnicas e instrumentos.....</b>	<b>30</b>
<b>Metodología.....</b>	<b>30</b>
<b>Caracterización de agregados .....</b>	<b>30</b>
<b>Análisis granulométrico de los agregados.....</b>	<b>30</b>
<b>Normativa: .....</b>	<b>31</b>
<b>Objetivos: .....</b>	<b>31</b>
<b>Procedimiento para agregado Fino .....</b>	<b>32</b>
<b>Procedimiento para agregado grueso.....</b>	<b>33</b>
<b>Contenido de humedad del agregado fino y grueso .....</b>	<b>35</b>
<b>Normativa: .....</b>	<b>36</b>
<b>Objetivo:.....</b>	<b>36</b>
<b>Peso específico de masa y grado de absorción del agregado fino: .....</b>	<b>37</b>
<b>Normativa: .....</b>	<b>38</b>
<b>Objetivos: .....</b>	<b>38</b>
<b>Procedimiento:.....</b>	<b>38</b>
<b>Cálculo: .....</b>	<b>39</b>
<b>Peso específico de masa y grado de absorción del agregado grueso:.....</b>	<b>42</b>
<b>Normativa: .....</b>	<b>42</b>
<b>Objetivos: .....</b>	<b>42</b>
<b>Procedimiento:.....</b>	<b>43</b>
<b>Cálculo: .....</b>	<b>44</b>
<b>Peso volumétrico suelto del agregado fino y grueso: .....</b>	<b>46</b>

<b>Normativa:</b> .....	<b>46</b>
<b>Objetivo:</b> .....	<b>46</b>
<b>Procedimientos:</b> .....	<b>46</b>
<b>Cálculo:</b> .....	<b>47</b>
<b>Peso volumétrico varillado del agregado fino y grueso:</b> .....	<b>47</b>
<b>Normativa:</b> .....	<b>47</b>
<b>Objetivo:</b> .....	<b>47</b>
<b>Procedimientos:</b> .....	<b>48</b>
<b>Ensayo de asentamiento NTP 339.035</b> .....	<b>51</b>
<b>Procedimientos:</b> .....	<b>51</b>
<b>Ensayos Mecánicos</b> .....	<b>53</b>
<b>Resistencia a la Compresión (NTP 339.034)</b> .....	<b>53</b>
<b>Resistencia a la Compresión (NTP 339.034)</b> .....	<b>53</b>
<b>Resistencia a la flexión</b> .....	<b>55</b>
<b>Procedimiento</b> .....	<b>55</b>
<b>Resultados y discusión</b> .....	<b>58</b>
<b>Resultados de ensayos de materiales utilizados</b> .....	<b>58</b>
<b>Cemento</b> .....	<b>58</b>
<b>Agregado Fino</b> .....	<b>58</b>
<b>Agregado Grueso</b> .....	<b>60</b>
<b>Resultados de probetas a compresión</b> .....	<b>73</b>
<b>Conclusiones</b> .....	<b>83</b>
<b>Recomendaciones</b> .....	<b>84</b>
<b>Referencias</b> .....	<b>85</b>

## Lista de ilustraciones

Ilustración 1: Esquema de fibras de acero.....	23
Ilustración 2: Dosificación de fibras BISFA.....	23
Ilustración 3: Peso agregado fino húmedo.....	33
Ilustración 4: Tamizado agregado fino.....	33
Ilustración 5: Colación horno agregado fino.....	33
Ilustración 6: Cuarteo de agregado grueso.....	35
Ilustración 7: Tamizado agregado grueso.....	35
Ilustración 8: Peso húmedo agregado grueso.....	37
Ilustración 9: Peso húmedo de la arena.....	37
Ilustración 10: Peso agregado fino para peso específico.....	40
Ilustración 11: Tesista pesando agregado fino.....	41
Ilustración 12: Peso de la fiola.....	41
Ilustración 13: Extracción de burbujas de aire.....	41
Ilustración 14: Fiola con agregado fino.....	42
Ilustración 15: Peso de canastilla sumergida.....	45
Ilustración 16: Peso de agregado grueso sumergido.....	45
Ilustración 17: Varillado de agregado fino.....	49
Ilustración 18: Vaciado de agregado grueso a molde.....	49
Ilustración 19: Peso de molde vacío.....	50
Ilustración 20: Tesista con peso unitario.....	50
Ilustración 21: Varillado de agregado grueso.....	50
Ilustración 22: Asentamiento de concreto patrón.....	52
Ilustración 23: Asentamiento patrón 4 pulgadas.....	52
Ilustración 24: Asentamiento concreto con fibras de acero y microsílíce.....	52
Ilustración 25: Diámetro de probeta.....	54

Ilustración 26: Probeta sometida a compresión.....	55
Ilustración 27: Probeta ensayada a compresión .....	55
Ilustración 28: Medición de viga.....	56
Ilustración 29: Rotura de viga ensayada a flexión .....	57
Ilustración 30: Viga sometida a flexión .....	57
Ilustración 31: Llenado de probeta con adiciones .....	57
Ilustración 32: Micro sílice en balanza .....	62
Ilustración 33: Tesista extrayendo policarboxilato .....	62

## Lista de tablas

Tabla 1: Operacionalización de variables .....	28
Tabla 2: Ensayos de resistencia a compresión .....	29
Tabla 3: Ensayos de módulo de rotura .....	30
Tabla 4: Análisis granulométrico de la arena gruesa .....	58
Tabla 5: Análisis granulométrico de la arena gruesa .....	60
Tabla 6: Resultados de probetas a compresión .....	73
Tabla 7: Resultados de las vigas a flexión .....	77
Tabla 8: Resultados de los módulos de rotura.....	79
Tabla 9: Resultado de análisis de costos unitarios .....	81

## **Lista de gráfico**

Gráfico 1: Curva granulométrica para el agregado fino.....	58
Gráfico 2: Curva granulométrica para el agregado grueso .....	60
Gráfico 3: Promedio de las resistencias a compresión a 28 días.....	76
Gráfico 4: Módulo de ruptura.....	80

## Resumen

El propósito de esta investigación es analizar la resistencia a la compresión y el módulo de rotura del pavimento rígido al incluir Fibras de acero en el diseño de la mezcla, así como diferentes porcentajes (8%, 10% y 12%) de microsílíce y policarboxilato.

Se está considerando como una propuesta para mejorar el rendimiento del concreto en pavimentos rígidos mediante la incorporación de microsílíce y fibra de acero en el diseño de la mezcla. Esta adición se está evaluando como una medida para la fabricación de pavimentos rígidos más efectivos. Para este fin, se realizaron distintos ensayos, cuya población está compuesta por 90 testigos para la resistencia a compresión y 22 vigas para el módulo de rotura para cada una del diseño de mezcla 8%,10% y 12% de microsílíce y 20kg/m<sup>3</sup>, 30kg/m<sup>3</sup> y 40kg/m<sup>3</sup> de fibras de acero, que nos puedan dar a conocer el efecto que tienen estas dos nuevas tecnologías sobre el concreto simple. Se obtuvieron resultados positivos y significativos en los ensayos, destacando dos dosificaciones de materiales que aumentaron la resistencia a la compresión y el módulo de rotura del concreto simple. Las dosificaciones más efectivas fueron 8% y 10% de microsílíce y 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero. Deduciendo así, que el uso de estos materiales conlleva una mejora significativa en la calidad de los pavimentos rígidos, ya que mejora sus propiedades mecánicas y físicas, aumentando de esta forma su durabilidad importante.

**Palabras clave:** Microsílíce, fibras de acero policarboxilato, resistencia compresión, módulo de rotura, durabilidad, pavimento rígido.

### **Abstract**

The objective of the research work is to determine the compressive strength and modulus of rupture of rigid pavement, incorporating steel fibers to the mix design in addition to 8%, 10% and 12% of microsilica and polycarboxylate.

As a proposal to improve the performance of concrete in rigid pavements, the addition of microsilica and steel fiber in the mix design for the elaboration of rigid pavements is evaluated. For this purpose, different tests were carried out, whose population is composed of 90 specimens for compressive strength and 14 beams for modulus of rupture for each of the mix design 8%, 10% and 12% of silica fume and 20kg/m<sup>3</sup>, 30kg/m<sup>3</sup> and 40kg/m<sup>3</sup> of steel fibers, which can give us to know the effect that these two new technologies have on the simple concrete. Positive and significant results were obtained in the tests, highlighting two dosages of materials that increased the compressive strength and modulus of rupture of plain concrete. The most effective dosages were 8% and 10% of microsilica and 30 kg/m<sup>3</sup> of steel fiber. Thus, the use of these materials leads to a significant improvement in the quality of rigid pavements, since it improves their mechanical and physical properties, thus increasing their durability.

**Keywords:** Microsilica, polycarboxylate, steel fibers, compressive strength, modulus of rupture, durability, rigid pavements.

## Introducción

El material de construcción más utilizado del mundo es sin duda el concreto, es el que se utiliza para construcciones de todo tipo, ya sean obras viales, hidráulicas, edificaciones, saneamiento, etc. Sin embargo, a lo largo de los últimos años, a nivel internacional se han presentado diferentes problemas principalmente en las estructuras de concreto de obras viales; dentro de las cuales tenemos el alto desprendimiento de pavimentos, esto debido a un elevado tránsito vehicular. Estos desprendimientos en el pavimento rígido generalmente son causados por cargas de impacto que genera el alto índice de flujo vehicular en nuestro país.

En el Perú; según el Índice Nacional del Flujo Vehicular, registro que, durante el mes de marzo de 2022, la circulación de vehículos ligeros y pesados creció en 4,5%, con referencia al mismo mes del año 2021, explicado por el desplazamiento de vehículos pesados que subió en 3,1%. Este alto índice de flujo vehicular genera considerables cargas de impacto que dañan a la estructura del pavimento, ocasionando así, los desprendimientos de los pavimentos rígidos; debido por el alto tránsito vehicular que se generan a diario.

Además, se observa la desintegración de las estructuras de concreto como resultado de la prolongada exposición a suelos que contienen sustancias químicas dañinas. La actividad química es uno de los problemas más frustrantes en la industria del hormigón. Por lo general, este tipo de agentes agresivos se esparcen en el medio ambiente y una vez que entran en contacto con los reactivos del concreto producen cambios que aparecen a corto, mediano o largo plazo dependiendo de condiciones como la humedad, la temperatura y la presión. Contacto, el material se ve afectado en el momento.

Un problema que los ingenieros y constructores suelen encontrar cuando usan concreto es no verificar las propiedades del agregado que están usando, lo que a menudo da como resultado resultados diferentes a los esperados. Dado que el agregado es un componente dinámico de la mezcla, aunque también pueden ocurrir cambios en sus propiedades durante la extracción, manipulación y transporte. Dado que constituyen la mayor parte del material, son componentes importantes del concreto y tienen un impacto significativo en el desempeño estructural. La demanda de hormigón de alta calidad hace necesario un conocimiento detallado de sus componentes, ya que la resistencia y durabilidad dependen de sus propiedades físicas y químicas, que son los áridos.

La separación de los pavimentos ocurre debido al tránsito pesado de vehículos, lo que resulta en cargas de impacto que dañan la superficie del pavimento. Además, la exposición del concreto a suelos con agentes químicos agresivos puede causar su deterioro. La baja calidad de los agregados también afecta la resistencia del concreto en relación con el diseño y la construcción de pavimentos rígidos.

A lo largo de los últimos años, se han buscado diferentes formas de aumentar las diferentes características de los pavimentos rígidos, principalmente la resistencia a la compresión y el módulo de rotura. Para ello según diversas investigaciones recomiendan añadir diversos tipos de aditivos. Por tal motivo, la presente tesis pretende evaluar las propiedades mecánicas – resistencia a la compresión en el concreto y el módulo de rotura de los pavimentos rígidos, fibroreforzado con acero y añadiéndole diferentes porcentajes de los aditivos como son la microsílíce y el policarboxilato.

En la ciudad de Chiclayo, los pavimentos rígidos existentes muestran diversos tipos de fallas, como fisuras y deterioro en los bordes y juntas. Estas fallas son causadas principalmente por el efecto de fatiga generado por las cargas intermitentes de los vehículos, así como por factores de desgaste por condiciones climáticas y falta de mantenimiento en las juntas. Un aspecto del problema es la expansión del suelo, la cual ocurre cuando los suelos experimentan un aumento de volumen debido al hinchamiento, que es común en suelos de grano fino, especialmente aquellos de tipo arcilloso. Este fenómeno se debe principalmente a la absorción de agua proveniente de infiltraciones.

En la ciudad de Chiclayo, gran parte de los suelos son tipo arcillosos: suelos blandos a medios: 2.0 m. < C-2 < 5.0 m. y suelos muy blandos a medios: 3.5 m. < C-1 < 4.5 m., los suelos de este tipo experimentan un incremento significativo en su volumen cuando se ven expuestos a cambios ambientales. Estos cambios pueden ser ocasionados por la disminución de la carga debido a la excavación del suelo, el secado causado por el aumento de la temperatura o, la causa más común y relevante desde un punto de vista práctico, la humedad del suelo. Este proceso de humedecimiento puede resultar en la expansión del suelo, lo que a su vez puede provocar roturas o fallas en las estructuras viales, como los pavimentos.

La investigación a continuación presentada se realiza dada la necesidad de implementar nuevas estrategias que mejore el comportamiento del pavimento rígido ante las causantes de su rápido deterioro debido al alto tránsito que existe en nuestro país.

Esta investigación busca demostrar que al usar dos nuevas tecnologías para el diseño de pavimentos rígidos se puede aumentar el módulo de rotura y la resistencia por compresión. Al usar de concreto con mejor resistencia a la compresión y mejor coeficiente de ruptura, se asegura una mayor vida útil en obras viales; también asegura que sus gastos en mantenimiento a largo plazo se reduzcan. Por lo anterior, se propone como alternativa el uso del polycarboxilato y microsilíce en la mezcla de concreto, como propuesta para probar su efecto en la resistencia a compresión y módulo de ruptura, lo que permitirá disminuir el espesor de una estructura de piso en acero.

Esta nueva tecnología ya se ha estado en uso durante algún tiempo en los Estados Unidos, Japón, Canadá, Noruega y Francia y tiene aplicaciones en pilares sólidos, puentes, túneles, muelles y grandes patios de vuelos. En cambio, en Perú, su uso se limita a muy pocos casos donde existen pequeñas aplicaciones mineras y pocas edificaciones.

La presente investigación se propone presentar aplicaciones prácticas, haciendo el uso de ciertos aditivos como lo son microsilíce y los polycarboxilatos, en concreto fibroreforzado con acero, con el fin de hallar las resistencias por compresión y el módulo de rotura que se logra alcanzar con la incorporación de cantidades ya definidas y adecuadamente dosificadas de estos aditivos.

Esta investigación también nos brindará resultados que nos hará posible dar a conocer el módulo de rotura y la resistencia por compresión del concreto reforzado y aditivos añadidos, lo que nos permitirá aplicar o formular estructuras con menor espesor y elevar su resistencia en construcción de obras viales.

Para el correcto desarrollo de la investigación se planteó como objetivo principal evaluar y determinar la resistencia a la compresión, durabilidad y el módulo de rotura del pavimento rígido reforzado con fibra de acero, incorporando microsilíce y polycarboxilato a la mezcla. Y como objetivos específicos se planteó los siguientes: Determinar la resistencia a la compresión, durabilidad y módulo de rotura del pavimento rígido, reforzado con 20kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero

e incorporando 10% de microsílíce y 1% de polícarboxilato a la mezcla; realizar un análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto con  $f'c$  280kg/cm<sup>2</sup> para pavimentos rígidos convencionales contra pavimentos rígidos fibroreforzados con acero, con microsílíce y polícarboxilato incorporado; realizar un análisis comparativo del módulo de rotura del concreto con  $f'c$  280kg/cm<sup>2</sup> para pavimentos rígidos convencionales contra pavimentos rígidos fibroreforzados con acero, con microsílíce y polícarboxilato incorporado; realizar un análisis comparativo de la durabilidad del concreto con  $f'c$  280kg/cm<sup>2</sup> para pavimentos rígidos convencionales contra pavimentos rígidos fibroreforzados con acero, con microsílíce y polícarboxilato incorporado; evaluar la rentabilidad del uso de fibras de acero, microsílíce y polícarboxilato para su aplicación en pavimentos rígidos.

## **Revisión de literatura**

### **Antecedentes**

El propósito de esta investigación fue presentar el concreto reforzado con fibra como una alternativa para mejorar las propiedades del concreto; pues sus diversas aplicaciones lo convierten en uno de los productos más demandados por los beneficios que ofrece al hormigón. Las principales mejoras realizadas al agregar fibras al concreto son reducir las grietas debido a la contracción plástica a medida que se endurece y aumenta significativamente la resistencia a la tracción. (Bordin)

Carrasco en esta investigación se propuso la finalidad de determinar el módulo de rotura y la resistencia por compresión del pavimento rígido, habiendo incorporado al diseño de la mezcla 5%, 7.5% y 10% de microsílíce y 0.5%, 1% y 2% de polícarboxilato, con el propósito de realizar el cálculo de espesor losa. Esta investigación fue tipo descriptiva, correlacional y explicativa con método de deducción y un diseño experimental. La población de esta investigación está conformada por 150 testigos para el cálculo de la resistencia a compresión y 20 vigas para cálculo del módulo de rotura para cada uno de los diseños de mezcla. Carrasco realizó los ensayos en laboratorio, determinando así las propiedades de los áridos finos y gruesos, su granulometría, nivel de humedad, porcentual de absorción, peso unitario, entre otros, de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas 400.037, 400.017, 400.010, 400.021 y 400.022. (Builes y Pardo)

En su estudio, Sutil y Zegarra pretendían comparar analíticamente las propiedades mecánicas del hormigón no reforzado y el hormigón reforzado con fibra de acero WirandFF3

y fibra de acero WinradFF4. Sutil y Zegarra realizaron pruebas de campo para producir un análisis comparativo de tres tipos de concreto: concreto no reforzado, concreto reforzado con fibras WirandFF3 y concreto reforzado con fibras WinrandFF4, los cuales tienen una capacidad de compresión de 280 kg/cm<sup>2</sup>. Para obtener datos que reflejen la realidad de la industria de la construcción en el Perú, se utilizaron agregados de cantera oficial y materiales que cumplieran con los estándares de calidad correspondientes. (Carrasco)

De la Cruz y Quispe, en la investigación presentada, determinaron el efecto de agregar filamentos de acero al concreto utilizado en la pavimentación de acero en la construcción de obras viales de en la localidad de Huamanga-Ayacucho. Los investigadores determinaron que al incorporar filamentos de acero tuvo efecto en las principales propiedades del concreto en su nuevo estado, destacándose la reducida manejabilidad, y la estabilidad de la mezcla reduciéndose de 31/4" a 3". Siempre se encuentran dentro de los límites permitidos establecidos en la norma ASTM y se utilizan para medir el tamaño de partícula de los agregados finos y gruesos provenientes de la cantera Chaccho, con el fin de determinar si cumplen con las especificaciones establecidas en la NTP. (De la Cruz y Quispe)

En su investigación, Dulce y Villanueva se centran en la preparación de hormigón de resistencias convencionales para su implementación en losas de concreto reforzados con fibras de acero Maccaferri FFi. Su objetivo es evaluar las propiedades, características físicas y propiedades mecánicas de esta adición para realizar los ensayos correspondientes. Aplicaron conocimientos en tecnología del concreto para estudiar las dosificaciones de concreto y compararlas con el concreto estándar utilizando áridos convencionales. De esta manera, buscan determinar si la utilización de esta adición garantiza una buena calidad del concreto y si permite reducir el espesor del pavimento. (Dulce y Villanueva)

El objetivo de este estudio fue determinar la asociación entre la prueba no destructiva de esclerometría y la resistencia a la compresión en concreto convencional, reforzado con fibras sintéticas y con fibras de acero a 3 diferentes edades maduras, realizándose los ensayos a los 7, 14 y 28 días. Se vertieron columnas de concreto y se realizaron pruebas simples de compresión y rebote, mediciones del centro de gravedad y pruebas de compresión. (Elsaigh)

En este estudio, se investigó el efecto del contenido de fibra de acero en las propiedades del hormigón mediante el uso de muestras de vigas y cubos, se comparó el SFRC con el hormigón

simple. Se realizó un estudio comparativo aplicando una carga estática sobre dos losas a escala real de diferente canto. La primera losa es SFRC y la segunda es concreto simple con una mezcla idéntica a la primera, pero sin fibras de acero. Las cargas y deflexiones medidas se compararon con los valores teóricos calculados utilizando modelos proporcionados por Westergaard, Meyerhof, Falkner et al y Shentu et al. (Montalvo)

Este trabajo presenta un estudio, mediante ensayos de laboratorio, del hormigón armado con fibras de acero aplicado a pavimentos. La resistencia a la compresión axial y la resistencia a la tracción se evaluaron indirectamente a través de la prueba de la placa triangular según Almeida (1999), además de compresión diametral y flexión en cuatro puntos, de hormigones con diferentes contenidos de fibras de acero. Se realizaron cuatro tipos de muestras, una traza de referencia, sin fibras, una traza con el contenido indicado por el fabricante de fibras ( $25 \text{ kg/m}^3$ ) y dos alternativas, una con  $15 \text{ kg/m}^3$  de fibras y otra con  $35 \text{ kg/m}^3$ . Los resultados muestran que, en relación a la resistencia a la tracción, las fibras de acero presentes en el hormigón redujeron la propagación de fisuras y promovieron la ductilidad post fisuración (1999). En términos de resistencia a la compresión axial, el concreto reforzado con fibra también mostró un mejor desempeño a los 28 días de edad. (Sotil y Zegarra)

## **Bases Teóricas**

### **Concreto**

El concreto es un material ampliamente utilizado en la construcción, está compuesto principalmente por cemento, agregados finos (como arena) y agregados gruesos (como grava o piedra triturada), mezclados con agua.

El cemento actúa como el agente aglutinante que une los agregados y el agua, formando una masa plástica que luego fragua y se endurece con el tiempo. Los agregados proporcionan la resistencia y la capacidad de carga del concreto, mientras que el agua es necesaria para la hidratación del cemento y facilita la colocación y el mezclado.

### **Componentes del concreto**

#### **Cemento Portland**

Es un polvo fino producido al moler clinker, que es una combinación de silicatos y aluminatos de calcio, junto con sulfatos de calcio. El cemento Portland reacciona químicamente con el agua para formar una pasta adherente que une los agregados y proporciona resistencia al concreto.

### **Agregados Gruesos**

Son fragmentos de rocas de tamaño mayor a 4.75 mm. Los agregados gruesos, generalmente grava o piedra triturada, proporcionan resistencia estructural al concreto. Su tamaño y distribución adecuados ayudan a mejorar las propiedades mecánicas y la durabilidad del pavimento rígido.

### **Agregados Finos**

Son partículas de tamaño menor a 4.75 mm, como arena. Los agregados finos llenan los espacios entre los agregados gruesos y ayudan a proporcionar una superficie más uniforme y compacta al pavimento rígido. También contribuyen a la resistencia y trabajabilidad del concreto.

### **Agua**

El agua es esencial en el proceso de hidratación del cemento Portland. Actúa como medio de reacción química, permitiendo que el cemento se endurezca y forme la matriz sólida que une los agregados. La cantidad y calidad del agua utilizada en la mezcla del concreto son importantes para garantizar su resistencia y durabilidad.

Además de estos componentes básicos, en algunos casos se pueden agregar otros materiales o aditivos para mejorar las propiedades del concreto en los pavimentos rígidos. Algunos ejemplos son:

- Aditivos Químicos: Se utilizan para modificar las propiedades del concreto, como la plasticidad, el tiempo de fraguado y la resistencia. Pueden incluir retardantes, aceleradores, superplastificantes, estabilizadores y aditivos para reducir la segregación y el sangrado.
- Refuerzo de fibra de acero: Se pueden agregar fibras de acero al concreto para mejorar su resistencia a la tracción y controlar la formación y propagación de fisuras.

En resumen, el concreto utilizado en pavimentos rígidos está compuesto principalmente por cemento Portland, agregados gruesos, agregados finos y agua. Estos componentes se combinan en proporciones adecuadas para obtener una mezcla homogénea que sea resistente y duradera para soportar las cargas y condiciones de tráfico en los pavimentos.

### **Microsilíce**

La microsílíce, también conocida como sílice activa o humo de sílice, es un aditivo utilizado en la construcción de pavimentos rígidos para mejorar las propiedades del concreto. Consiste en partículas extremadamente finas de sílice, que son subproductos de la producción de silicio o la industria del ferro silicio.

Su adición en el concreto puede traer consigo ciertos efectos beneficioso, incluyendo:

**Mejora de la resistencia mecánica:** La microsílíce actúa como un material de refuerzo, ya que sus partículas finas llenan los espacios vacíos entre los granos de cemento y agregados. Esto resulta en una matriz más densa y compacta, lo que aumenta la resistencia a la compresión, flexión y abrasión del concreto. El concreto con microsílíce tiene una mayor capacidad para soportar cargas pesadas y tráfico intenso en los pavimentos.

**Reducción de la permeabilidad:** La adición de microsílíce al concreto reduce la permeabilidad y la porosidad, lo que limita la entrada de agua, cloruros y otros agentes agresivos al interior del pavimento. Esto contribuye a proteger las armaduras de acero contra la corrosión y aumenta la durabilidad del concreto en ambientes agresivos, como zonas costeras o sujetas a ciclos de congelación y deshielo.

**Mejora de la resistencia a la abrasión y desgaste:** La microsílíce aumenta la dureza y la resistencia a la abrasión del concreto, lo que es especialmente importante en pavimentos sometidos a cargas y tráfico vehicular intenso. Esta mejora en la resistencia al desgaste ayuda a prolongar la vida útil del pavimento y reduce la necesidad de mantenimiento y reparaciones frecuentes.

**Control de la retracción y la fisuración:** La microsílíce ayuda a controlar la retracción del concreto durante el proceso de fraguado y endurecimiento. Esto ayuda a reducir la formación de fisuras y grietas en el pavimento, lo que es crucial para mantener la integridad estructural y la funcionalidad del pavimento rígido a lo largo del tiempo.

En resumen, la microsílíce es un aditivo utilizado en pavimentos rígidos para mejorar la resistencia, durabilidad y capacidad de carga del concreto. Su incorporación ayuda a fortalecer la matriz del concreto, reducir la permeabilidad, aumentar la resistencia al desgaste y controlar la formación de fisuras, lo que resulta en pavimentos más robustos y de mayor vida útil.

## **Fibra de acero**

Las fibras de acero son elementos de refuerzo utilizados en la construcción de pavimentos rígidos para mejorar la resistencia y el rendimiento del concreto. Consisten en filamentos de acero de alta resistencia y pequeño diámetro, que se agregan en forma dispersa en la mezcla de concreto.

En pavimentos rígidos, las fibras de acero se mezclan con los otros componentes del concreto, como el cemento, los agregados y el agua. Estas fibras actúan como refuerzo disperso en el concreto, proporcionando beneficios como:

**Mejora de la resistencia a la tracción:** El concreto es un material que es muy resistente a la compresión, pero tiene una baja resistencia a la tracción. La adición de fibras de acero al concreto ayuda a mejorar su resistencia a la tracción, lo que reduce la posibilidad de fisuración y agrietamiento bajo cargas o esfuerzos de tracción. Esto resulta en un pavimento más resistente y duradero.

**Control de la fisuración:** Las fibras de acero ayudan a controlar la formación y propagación de fisuras en el concreto. Actúan como micro-refuerzos que dispersan las tensiones a lo largo del concreto, evitando la propagación de las fisuras existentes y reduciendo la formación de nuevas fisuras. Esto es especialmente beneficioso en pavimentos rígidos, donde las fisuras pueden comprometer la integridad estructural y la funcionalidad del pavimento.

**Mayor tenacidad y resistencia al impacto:** Las fibras de acero aumentan la tenacidad del concreto, lo que significa que el pavimento puede absorber mejor los impactos y las cargas dinámicas. Esto es importante en pavimentos sometidos a cargas pesadas, como tráfico vehicular intenso o cargas de ruedas concentradas. Las fibras de acero mejoran la capacidad del concreto para resistir y redistribuir las cargas, reduciendo así el daño por impacto y prolongando la vida útil del pavimento.

**Reducción de la formación de grietas por contracción:** La contracción del concreto durante el proceso de fraguado y endurecimiento puede dar lugar a la formación de grietas. Las fibras de acero ayudan a reducir la formación de estas grietas de contracción al proporcionar una restricción en la contracción del concreto. Esto contribuye a la integridad estructural y a la apariencia estética del pavimento.

Esquema de fibra de acero:



Ilustración 1: Esquema de fibras de acero

### Tipos de fibra:

Existen variedades de tipos de fibras actualmente para uso comercial y para usos experimentales, pero las más características son: fibras naturales, fibras de acero, fibras sintéticas y fibras de vidrio.

En el siguiente cuadro podemos ver la clasificación de las fibras por BISFA:

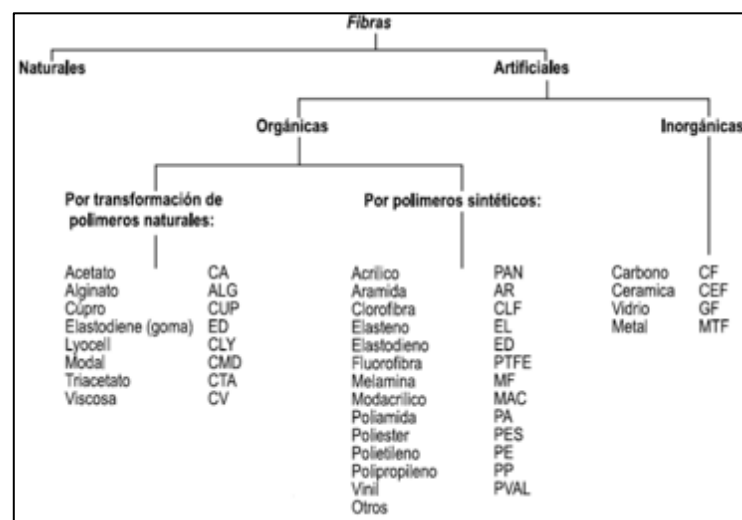


Ilustración 2: Clasificación de fibras BISFA

### Policarboxilato

En el contexto de los pavimentos rígidos, el policarboxilato se refiere a los aditivos superplastificantes basados en policarboxilato. Los aditivos superplastificantes son sustancias químicas utilizadas en la industria del concreto para mejorar su fluidez y trabajabilidad sin comprometer sus propiedades de resistencia.

El policarboxilato es un tipo de aditivo superplastificante de última generación. Se produce mediante la polimerización de ácidos carboxílicos y monómeros polifuncionales, lo que da

como resultado una cadena polimérica con grupos funcionales carboxilato. Estos grupos carboxilato tienen una alta capacidad de dispersión y reducción de la tensión superficial en el concreto.

La adición de policarboxilato en el concreto permite una mejor dispersión de las partículas de cemento, lo que resulta en una mayor fluidez y manejabilidad del concreto. Esto facilita su colocación y compactación, lo que a su vez mejora la calidad del acabado superficial. Además, el uso de policarboxilato puede permitir una reducción en la cantidad de agua necesaria para lograr la misma trabajabilidad, lo que resulta en una mayor resistencia y durabilidad del concreto.

### **Metodología para el diseño de mezcla**

Teniendo en cuenta las características de los materiales empleados en la mezcla de concreto, como su densidad, tamaño de partícula, contenido de humedad y capacidad de absorción, así como la elección del tipo de cemento y sus propiedades, en la actualidad se están llevando a cabo los siguientes procedimientos.

### **Selección de la resistencia requerida( $f'c$ )**

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (N.T E-60, Capítulo 4, pág. 447- 448) nos da a conocer los tres escenarios posibles al tratar de calcular la resistencia requerida  $f'c$

Caso 1:

Si hay datos estadísticos sobre la producción en el sitio, así como los resultados de la rotura de la muestra. Si se diera el caso, se emplearán las fórmulas presentadas a continuación para cálculo de la resistencia requerida  $f'c$ , según (N.T E-60, Capítulo 4, pág. 447-448)

*Ecuación 1: Ecuación resistencia requerida*

$$f'_{cr} = f'_i + 1.34 * D_i$$

$$f'_{cr} = f'_i + 2.33 * D_i - 35$$

Donde:  $f'c$ : resistencia a la compresión.

Ds: Desviación estándar

Caso 2:

Si hay información estadística sobre la producción en el sitio, así como los resultados de ruptura de la muestra de prueba. Si fuera el caso, se emplearán las siguientes fórmulas presentadas para hallar la resistencia requerida  $f'cr$ .

### **Selección de tamaño nominal:**

Como nos lo recomiendan las normas de diseño estructural, el tamaño nominal máximo de árido grueso sea económico, siempre que sea adecuado a las magnitudes y propiedades de la estructura.

Según la Norma Técnica de Edificación E. 060 nos indica que el árido grueso no puede ser mayor que:

- 1/5 de la dimensión más pequeña entre dos lados de encofrados
- 1/3 del peralte de la losa
- 3/4 de espacio libre mínimo entre barras individuales de refuerzo

Estas restricciones suelen evitarse mediante la aplicación de métodos de trabajo y compactación que permitan que el concreto fragüe de manera uniforme, sin generar huecos o vacíos en su estructura.

### **Selección del asentamiento**

La nivelación utilizada en la construcción debe especificarse en la especificación, o puede determinarse empíricamente sin cambiar ciertas propiedades.

### **Determinación de volumen de agua**

La cuantía de agua (por unidad de volumen de hormigón) requerida para producir una holgura dada depende del volumen máximo de hormigón. Agregado, configuración de partícula, jerarquía de agregados y entrada de aire.

### **Selección del contenido de aire**

ACI 211 determina una tabla donde estima el porcentual de contenido de aire hueco en una mezcla de concreto con base en el volumen máximo nominal de arido grueso.

### Selección relación Agua-Cemento

La relación agua-cemento que se requiere está determinada no solo por los requerimientos de la durabilidad, sino también por factores como la tenacidad y las propiedades de acabado. Por la diferencia entre áridos y cemento. Diferentes resistencias a menudo producen la misma relación agua-cemento, es útil conocer o desarrollar una correlación dada entre las resistencias y la relación agua-cemento para los materiales que realmente se utilizarán.

Para condiciones de contacto extremas, la relación a/c debe permanecer baja, aunque las disposiciones de resistencia se pueden cumplir con valores más altos

### Cálculo del contenido del cemento

*Ecuación 2: cálculo de contenido de cemento*

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Cantidad * de * agua}}{A/C}$$

### Cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados

*Ecuación 3: Volúmenes absolutos de agregados*

$$\text{Vol. Abs. Agregados (m}^3\text{)} = 1 - \text{Vol. Abs. Cemento} - \text{Vol. Abs. Agua} - \text{Vol. Aire}$$

### Correlación de humedad de agregados

Peso agregado grueso húmedo:

$$\text{Peso}_A \text{ grueso}_\text{ húmedo} (\text{Kg}) = (\text{Peso}_A \text{ grueso}_\text{ seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W}{100}\right)$$

*Ecuación 4: Correlación por humedad de agregados*

Peso agregado fino húmedo:

$$\text{Peso}_A \text{ fino}_\text{ húmedo} (\text{Kg}) = (\text{Peso}_A \text{ fino}_\text{ seco}) \cdot \left(1 + \frac{\%W}{100}\right)$$

*Ecuación 5: Peso agregado fino húmedo*

## Cálculo agua efectiva

Agua efectiva peso agregado grueso:

$$\text{Peso}_{A.\text{grueso}_\text{humedo}}(\text{Kg}) = (\text{Peso}_{A.\text{grueso}.\text{seco}}) \cdot \left( \frac{\%W - \%a}{100} \right) = X$$

*Ecuación 6: Agua efectiva peso agregado grueso*

Agua efectiva peso agregado fino:

$$\text{Peso}_{A.\text{fino}_\text{humedo}}(\text{Kg}) = (\text{Peso}_{A.\text{fino}.\text{seco}}) \cdot \left( \frac{\%W - \%a}{100} \right) = Y$$

*Ecuación 7: Agua efectiva peso agregado fino*

Agua efectiva:

$$\text{Agua}_\text{efectiva}(\text{Lt}) = \text{Agua}_\text{diseño} - (X + Y)$$

*Ecuación 8: Agua efectiva*

## Materiales y métodos

### Hipótesis

#### Hipótesis general

La inclusión de un porcentaje de microsílíce (8%, 10% y 12%) y una cantidad de fibra de acero (20kg/m<sup>3</sup>, 30kg/m<sup>3</sup> y 40kg/m<sup>3</sup>) en el diseño de mezcla de pavimento rígido resulta en un aumento de la resistencia a la compresión y el módulo de rotura. Esto permite reducir el espesor de la losa sin comprometer su rendimiento.

#### Hipótesis específicas

- La resistencia a la compresión y el módulo de rotura del pavimento rígido incrementa, cuando se incorpora en el diseño de mezcla 20kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero y 8%, 10% y 12% de microsílíce, reduciendo así el espesor de la losa.
- La resistencia a la compresión y el módulo de ruptura del pavimento rígido incrementa, cuando se incorpora en el diseño de mezcla 30kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero y 8%, 10% y 12% de microsílíce, reduciendo así el espesor de la losa.

- La resistencia a la compresión y el módulo de ruptura del pavimento rígido incrementa, cuando se incorpora en el diseño de mezcla 40kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero y 8%, 10% y 12% de microsílíce, reduciendo así el espesor de la losa.

## Operacionalización de variables

*Tabla 1: Operacionalización de variables*

VARIABLES	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS/HERRAMIENTAS
Fibra de acero	Variable independiente X1	Peso por m <sup>3</sup> (20kg, 30kg y 40kg)	Kg	Blanazas
Microsílíce	Variable independiente X2	Peso por porcentaje(8%, 10% y 12%)	%	Taras/Balanzas
Resistencia a la compresión del concreto	Variable dependiente Y1	Resistencia a la compresión del concreto	kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo de la resistencia a la compresión (probetas) - NTP 334.051-1998
Módulo de Ruptura	Variable dependiente Y2	Modulo de rotura	kg/cm <sup>2</sup>	Ensayo de resistencia a flexión (Vigas prismáticas) - MTC 438.06
Policarboxilato	Variable Intervniente	Peso por porcentaje(1%)	%	Taras/Balanzas

## Diseño de investigación

Este estudio consta de un diseño experimental, dado a la modificación del medio estudiado, ya que los dos factores que se introdujeron en la mezcla de concreto fibroreforzado son policarboxilato y microsílíce. Se presentará y se explicará en general el procedimiento del experimento:

- Primero se pretende realizar el diseño de mezcla sin adiciones y con policarboxilato incorporado, con el fin de hallar los valores del módulo de ruptura y la resistencia por compresión del concreto.
- Se realizará el diseño añadiendo a la mezcla microsílíce a un 8% para posteriormente evaluar su efecto en el módulo de ruptura y la resistencia por compresión en concreto reforzado con fibras de acero para su uso en pavimentos rígidos.

c. Se realizará el diseño añadiendo a la mezcla microsílíce a un 10%, para posteriormente evaluar su efecto en el módulo de ruptura y la resistencia por compresión en concreto reforzado con fibras de acero para su uso en pavimentos rígidos.

d. Se realizará el diseño añadiendo a la mezcla microsílíce a un 12%, para posteriormente evaluar su efecto en el módulo de ruptura y la resistencia por compresión en concreto reforzado con fibras de acero para su uso en pavimentos rígidos.

e. Por último, se procederá a evaluar la resistencia de los diseños en el tiempo.

## Población

La población consta de todos los cilindros probeta de prueba de como resultantes de las pruebas de resistencia por compresión y firmeza del módulo de ruptura de varias formulaciones de aditivos.

## Muestra

### Muestra para resistencia a compresión

El procedimiento para seleccionar el número de testigos se basa en los siguientes criterios: Normativa Nacional de Edificación E-60 para ensayos de resistencia a la compresión. En el estudio, se probaron un total de 3 muestras para un ajuste estadístico óptimo, por lo que el diseño de la muestra coincidió con la población de estudio.

*Tabla 2: Ensayos de resistencia a compresión*

	ENSAYOS DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN			
	7D	14D	28D	Total
Muestra Patrón	3	3	3	9
20kg Fibra+8% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
20kg Fibra+10% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
20kg Fibra+12% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
	7D	14D	28D	Total
30kg Fibra+8% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
30kg Fibra+10% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
30kg Fibra+12% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
	7D	14D	28D	Total
40kg Fibra+8% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
40kg Fibra+10% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
40kg Fibra+12% Microsilíce+1% Policarboxilato	3	3	3	9
TOTAL RESISTENCIA COMPRESION				90

### Muestra para módulo de ruptura

En el manual de carreteras del MTC (Ministerio de Transporte y telecomunicaciones), las especificaciones generales para la construcción en la sección en 438.06 establece que se requieren al menos dos barras transversales prismáticas para cada diseño compuesto que se implementará.

En el estudio se probaron un total de 2 muestras para un ajuste estadístico óptimo para cada ciclo de diseño, razón por la cual el diseño de la muestra coincidió con la población de estudio.

*Tabla 3: Ensayos de módulo de rotura*

	ENSAYOS MODULO DE ROTURA		
	14D	28D	Total
Muestra Patrón	2	2	4
20kg Fibra+8% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
20kg Fibra+10% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
20kg Fibra+12% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
	14D	28D	Total
30kg Fibra+8% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
30kg Fibra+10% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
30kg Fibra+12% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
	14D	28D	Total
40kg Fibra+8% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
40kg Fibra+10% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
40kg Fibra+12% Microsilice+1% Policarboxilato	-	2	2
	TOTAL MODULO ROTURA		22

## **Técnicas, instrumentos y recolección de datos**

### **Técnicas e instrumentos**

En esta investigación se determinará las propiedades de los áridos, como su granulometría, porcentaje de absorción, contenido de humedad, peso unitario, entre otros, de acuerdo con las Normas Técnicas Peruanas 400.037, 400.017, 400.010, 400.021 y 400.022.

Con respecto al diseño de mezcla del concreto, se escogió usar el método del ACI, de igual manera, se eligió una relación A/C=0.45.

## **Metodología**

### **Caracterización de agregados**

#### **Análisis granulométrico de los agregados**

El análisis granulométrico del agregado grueso y fino es un procedimiento utilizado para determinar la distribución de tamaños de partículas en las fracciones gruesas y finas de los agregados utilizados en la construcción, respectivamente.

Para realizar el análisis granulométrico, se siguen los siguientes pasos:

**Obtención de la muestra representativa:** Se toma una muestra representativa del agregado grueso o fino de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables. La muestra se recoge de diferentes puntos y se mezcla para obtener una muestra homogénea.

**Tamizado:** La muestra se somete a un proceso de tamizado utilizando una serie de tamices de abertura de mallas progresivamente más pequeñas. Los tamices se apilan en orden de apertura decreciente, colocando el tamiz con la abertura más grande en la parte superior.

**Agitación y pesado:** La muestra se coloca en el tamiz superior y se agita mecánicamente o manualmente durante un tiempo determinado para separar las partículas según su tamaño. Luego, se pesa el material retenido en cada tamiz.

**Registro de resultados:** Se registra el peso del material retenido en cada tamiz y se calcula el porcentaje de material retenido en cada tamaño de partícula en relación con el peso total de la muestra.

**Gráfico de distribución granulométrica:** Los resultados se representan gráficamente en un gráfico de distribución granulométrica, donde se muestra el porcentaje acumulado de material retenido en función del tamaño de partícula. El gráfico proporciona una visualización clara de la distribución de tamaños del agregado.

El análisis granulométrico del agregado grueso y fino es fundamental para evaluar la calidad y la idoneidad de los agregados en la construcción de concreto y otros materiales. Permite determinar si el agregado cumple con las especificaciones requeridas y si la gradación es adecuada para obtener un concreto de buena calidad y características deseadas.

### **Normativa:**

Se realiza un análisis granulométrico para evaluar la distribución de tamaños de partículas en los agregados fino y grueso, siguiendo las pautas establecidas en las normas ASTM C136 o NTP 400.012 y NTP 400.037. Este análisis permite determinar la gradación de los agregados.

### **Objetivos:**

- Obtener el tamaño de las partículas a través de tamices ordenados progresivamente según el tamaño de abertura.

- Establecer el módulo de finura del agregado fino y el tamaño máximo nominal del agregado grueso.
- Contrastar que la curva granulométrica obtenida esté dentro de los husos granulométricos establecidos en la normativa.

### **Procedimiento para agregado Fino**

El ensayo granulométrico de agregado fino es utilizado para determinar la distribución de tamaños de las partículas en el agregado fino, como la arena. A continuación, se presenta un procedimiento básico a seguir para realizar este ensayo:

#### 1. Preparación del equipo:

- Reúne el equipo necesario, que incluye tamices de diferentes aberturas, una balanza, una bandeja de recepción y recipientes para recolectar el material.
- Etiqueta cada tamiz con su número de abertura correspondiente.

#### 2. Preparación de la muestra:

- Obtén una muestra representativa del agregado fino. Se recomienda tomar una muestra en diferentes puntos del suministro para asegurar la representatividad.
- Limpia y seca la muestra para eliminar cualquier impureza o contenido de humedad que pueda afectar los resultados.

#### 3. Tamizado:

- Coloca el tamiz de mayor abertura en la parte superior de una pila de tamices, seguido de los tamices de aberturas progresivamente más pequeñas hacia abajo.
- Agrega la muestra preparada en el tamiz superior y cubre con la tapa correspondiente.
- Sujeta la pila de tamices y colócala en un dispositivo de agitación, como un tamizador mecánico, o realiza el tamizado manualmente agitando los tamices de manera vertical y lateral durante un tiempo determinado.
- Una vez completado el tamizado, retira cada tamiz de la pila y registra la masa de agregado retenido en cada uno.

#### 4. Cálculo y análisis de resultados:

- Registra los valores de masa retenida en cada tamiz y calcula el porcentaje retenido acumulado para cada tamaño de abertura.

- Utiliza los valores obtenidos para trazar la curva granulométrica, que muestra la distribución de tamaños del agregado fino.
- Puedes calcular y obtener parámetros adicionales, como el coeficiente uniformidad y el coeficiente de curvatura, para evaluar la gradación del agregado fino.

Es importante seguir los estándares y procedimientos establecidos por las normas técnicas o especificaciones aplicables en tu país o región. Además, ten en cuenta que pueden existir variaciones en el procedimiento según el equipo y las prácticas específicas de cada laboratorio.

A continuación, se presentará la forma de determinar el módulo de finura del agregado fino, siguiendo las indicaciones establecidas en la norma NTP 400.012. Este parámetro es utilizado específicamente para el diseño de mezclas posteriores.

$$Mf AF = \frac{\% \text{ ret acum. } (N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$



*Ilustración 3: Peso agregado fino húmedo*



*Ilustración 4: Tamizado agregado fino*



*Ilustración 5: Colación horno agregado fino*

### **Procedimiento para agregado grueso**

El ensayo granulométrico de agregado grueso se realiza para determinar la distribución de tamaños de las partículas en el agregado grueso, como la grava o la piedra triturada. A continuación, se presenta un procedimiento básico a seguir para llevar a cabo este ensayo:

1. Preparación del equipo:

- A continuación, se reúne el equipo necesario, estos incluyen tamices de diferentes aberturas, una balanza, una bandeja de recepción y recipientes para recolectar el material.
- Etiqueta cada tamiz con su número de abertura correspondiente.

## 2. Preparación de la muestra:

- Obtén una muestra representativa del agregado grueso. Se recomienda tomar muestras de diferentes puntos del suministro para garantizar la representatividad.
- Limpia y seca la muestra para eliminar cualquier impureza o contenido de humedad que pueda afectar los resultados.

## 3. Tamizado:

- Coloca el tamiz de mayor abertura en la parte superior de una pila de tamices, seguido de los tamices de aberturas progresivamente más pequeñas hacia abajo.
- Agrega la muestra preparada en el tamiz superior y cubre con la tapa correspondiente.
- Sujeta la pila de tamices y colócala en un dispositivo de agitación, como un tamizador mecánico, o realiza el tamizado manualmente agitando los tamices de manera vertical y lateral durante un tiempo determinado.
- Una vez completado el tamizado, retira cada tamiz de la pila y registra la masa de agregado retenido en cada uno.

## 4. Cálculo y análisis de resultados:

- Registra los valores de masa retenida en cada tamiz y calcula el porcentaje retenido acumulado para cada tamaño de abertura.
- Utiliza los valores obtenidos para trazar la curva granulométrica, que muestra la distribución de tamaños del agregado grueso.
- Puedes calcular y obtener parámetros adicionales, como el diámetro máximo nominal y el coeficiente de uniformidad, para evaluar la gradación del agregado grueso.

A continuación, se procede a explicar el método para determinar el módulo de finura del agregado fino que se utiliza específicamente para el posterior diseño de mezcla.

$$M_f AG = \frac{\% \text{ ret acum. } (4" + 3 \frac{1}{2}" + 3" + 2 \frac{1}{2}" + 2 + 1 \frac{1}{2} + 1 + \frac{1}{2} + \frac{3}{8}) + 500}{100}$$



*Ilustración 6: Cuarteo de agregado grueso*



*Ilustración 7: Tamizado agregado grueso*

### **Contenido de humedad del agregado fino y grueso**

El contenido de humedad en los agregados se refiere a la cantidad de agua presente en el material. Los agregados pueden contener una cierta cantidad de humedad natural, que es la cantidad de agua que está presente en ellos de forma inherente, debido a su exposición al medio ambiente. Este contenido de humedad puede variar dependiendo de factores como la ubicación geográfica, la temporada, la exposición a la lluvia o la humedad relativa del entorno.

El contenido de humedad en los agregados es importante tenerlo en cuenta en diversas etapas de la construcción, especialmente en el diseño y la dosificación del concreto. La cantidad de agua presente en los agregados afecta directamente la relación agua-cemento en la mezcla de concreto, lo que a su vez puede influir en las propiedades y características finales del concreto endurecido, como la resistencia, la trabajabilidad y la durabilidad.

**Normativa:**

Se lleva a cabo la determinación del contenido de humedad del agregado fino y grueso siguiendo las pautas establecidas en las normas ASTM C 566 o NTP 339.185. Este procedimiento permite obtener información precisa sobre la cantidad de humedad presente en los agregados antes de su utilización.

**Objetivo:**

Determinar el contenido de humedad expresado en porcentaje del agregado fino y grueso.

El contenido de humedad del agregado fino y grueso se determina mediante el siguiente procedimiento:

- Obtención de la muestra: Se toma una muestra representativa del agregado fino o grueso de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables. La muestra se recoge de diferentes puntos y se mezcla para obtener una muestra homogénea.
- Pesar la muestra húmeda: Se pesa una porción de la muestra representativa en un recipiente limpio y seco. Este peso se registra como el peso inicial de la muestra húmeda.
- Secado de la muestra: La muestra se coloca en una estufa o en un horno a una temperatura específica, generalmente alrededor de 105-110 °C (221-230 °F). Se deja secar hasta que el peso de la muestra se mantenga constante, lo que indica que la humedad se ha evaporado completamente. Esto puede llevar varias horas.
- Pesar la muestra seca: Una vez que la muestra se ha secado por completo y se ha alcanzado un peso constante, se retira del horno y se pesa nuevamente. Este peso se registra como el peso de la muestra seca.

El resultado obtenido es el porcentaje de contenido de humedad del agregado, que representa la cantidad de agua presente en la muestra en relación con su peso seco. Esta información es importante para ajustar la cantidad de agua en la mezcla de concreto y lograr una dosificación adecuada.

A continuación, se explicará el procedimiento para determinar el contenido de humedad de los agregados, tanto finos como gruesos, utilizados específicamente para el posterior diseño de mezcla.

$$\% W = \left( \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \right) \times 100$$



*Ilustración 8: Peso húmedo agregado grueso*



*Ilustración 9: Peso húmedo de la arena*

#### **Peso específico de masa y grado de absorción del agregado fino:**

El peso específico de masa, también conocido como densidad aparente, se refiere a la masa por unidad de volumen de un material. En el caso del agregado fino, el peso específico de masa se expresa en  $\text{kg/m}^3$ . Esta propiedad indica cuánta masa hay en un determinado volumen de agregado fino. Generalmente, se mide determinando la masa de una muestra de agregado y dividiéndola por su volumen ocupado. El peso específico de masa del agregado fino puede variar dependiendo de su composición mineralógica, tamaño de partícula y contenido de humedad.

El grado de absorción del agregado fino se refiere a la capacidad del material para absorber agua. Esta propiedad se expresa como un porcentaje y se obtiene al comparar la cantidad de agua absorbida por el agregado fino con respecto a su peso seco. Se utiliza para evaluar la capacidad de absorción y retención de agua del agregado, lo cual es importante para determinar la cantidad de agua que debe considerarse al diseñar mezclas de concreto. Un alto grado de absorción indica que el agregado puede retener más agua, lo que puede afectar la relación agua-cemento en la mezcla y, por lo tanto, las propiedades del concreto.

**Normativa:**

Determinación del peso específico y absorción del agregado fino de acuerdo a ASTM C 128 ó NTP 400.022.

**Objetivos:**

Determinar el peso específico de masa, peso específico de masa saturado superficialmente seco, peso específico aparente y el grado de absorción del agregado fino.

**Procedimiento:**

El procedimiento para determinar el peso específico de masa y el grado de absorción del agregado fino se puede realizar siguiendo los siguientes pasos:

- Obtención de la muestra: Se toma una muestra representativa del agregado fino de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables. La muestra se recoge de diferentes puntos y se mezcla para obtener una muestra homogénea.
- Pesar la muestra seca: Se pesa una porción de la muestra representativa en un recipiente limpio y seco. Este peso se registra como el peso seco de la muestra.
- Sumergir la muestra en agua: Se sumerge completamente la muestra seca en agua durante un período de tiempo específico, generalmente entre 24 y 72 horas. Durante este tiempo, se permite que la muestra se sature de agua.

- Eliminación del exceso de agua superficial: Después del tiempo de inmersión, se retira la muestra del agua y se eliminan suavemente el exceso de agua superficial con una toalla o papel absorbente. No se debe frotar ni secar en exceso la muestra.
- Pesarse la muestra saturada: La muestra saturada se pesa nuevamente en el mismo recipiente limpio y seco. Este peso se registra como el peso saturado de la muestra.

**Cálculo:**

Para obtener el peso específico del agregado fino usaremos la siguiente ecuación

$$\gamma_{A.F} = \frac{W_s}{V_f - V_{agua}}$$

**Donde:**

$\gamma_{AF}$ : Peso específico del agregado fino.

$W_s$ : Peso de la arena seca al horno.

$V_f$ : Volumen del frasco.

$V_{agua}$ : Peso del volumen de agua contenida en el frasco

Para obtener el peso específico de la masa saturada superficialmente seca utilizamos la siguiente ecuación

$$\gamma_{SSS} = \frac{W_s}{W_s - W_{agua}}$$

**Donde:**

$\gamma_{SSS}$ : Peso específico de la masa saturada superficialmente seca.

$W_s$ : Peso de la arena seca al horno.

$W_{agua}$ : Peso del volumen de agua contenida en el frasco.

Para obtener el peso específico aparente del agregado fino usaremos la siguiente ecuación:

$$\gamma_{ap} = \frac{W_s}{(V_f - V_{agua}) - (W_{SSS} - W_s)}$$

**Donde:**

$\gamma_{ap}$ : Peso específico aparente.

$W_s$ : Peso de la arena secada al horno.

$W_{sss}$ : Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

$V_f$ : Volumen del frasco.

Vagua: Peso del volumen de agua contenida en el frasco.

Para obtener el grado de absorción del agregado fino necesitaremos de la siguiente ecuación:

$$\%A = \frac{W_{sss} - W_s}{W_s} \times 100$$

**Donde:**

$\%A$ : Grado de absorción.

$W_s$ : Peso de la arena secada al horno (muestra en estado seco).

$W_{sss}$ : Peso de la muestra saturada superficialmente seca.



*Ilustración 10: Peso agregado fino para peso específico*



*Ilustración 11: Tesista pesando agregado fino*



*Ilustración 12: Peso de la fiola*



*Ilustración 13: Extracción de burbujas de aire*



*Ilustración 14: Fiola con agregado fino*

### **Peso específico de masa y grado de absorción del agregado grueso:**

El peso específico de masa del agregado grueso se refiere a la masa por unidad de volumen de las partículas del agregado grueso. Se expresa en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/ft}^3$ . El peso específico de masa se determina generalmente en estado seco y en estado saturado superficialmente seco (SSD). El grado de absorción del agregado grueso se refiere a la capacidad del agregado para absorber agua en relación con su masa. Se expresa como un porcentaje. El grado de absorción se determina comparando la masa del agregado seco con su masa después de haber sido saturado con agua y eliminado el exceso de agua superficial. El grado de absorción es una medida importante, ya que puede afectar la cantidad de agua disponible para la hidratación del cemento en una mezcla de concreto, lo que a su vez puede afectar la trabajabilidad y las propiedades del concreto.

### **Normativa:**

Determinación del peso específico y grado de absorción del agregado grueso de acuerdo con ASTM C 127 ó NTP 400.021.

### **Objetivos:**

Determinar el peso específico de masa, peso específico de masa saturado superficialmente seco, peso específico aparente y el grado de absorción del agregado grueso.

**Procedimiento:**

El procedimiento para determinar el peso específico de masa y el grado de absorción del agregado grueso se puede realizar siguiendo los siguientes pasos:

- Obtención de la muestra representativa: Se debe tomar una muestra representativa del agregado grueso de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables. La muestra se debe recolectar de diferentes puntos y se debe mezclar para obtener una muestra homogénea.
  
- Peso en estado seco:
  - a. Secado de la muestra: Se debe secar la muestra en un horno a una temperatura constante de aproximadamente 110 °C (230 °F) hasta que alcance un peso constante. Esto generalmente toma varias horas.
  - b. Peso de la muestra seca: Se debe pesar la muestra seca en un recipiente limpio y seco. Este peso se registra como el peso seco de la muestra.
  
- Peso en estado saturado superficialmente seco (SSD):
  - a. Inmersión en agua: Se sumerge completamente la muestra seca en agua durante un período de tiempo específico, generalmente entre 24 y 48 horas.
  - b. Eliminación del exceso de agua superficial: Después del tiempo de inmersión, se retira la muestra del agua y se elimina suavemente el exceso de agua superficial con una toalla o papel absorbente. No se debe frotar ni secar en exceso la muestra.
  - c. Peso de la muestra saturada: Se debe pesar la muestra saturada en un recipiente limpio y seco. Este peso se registra como el peso saturado de la muestra.
  
- Cálculo del peso específico de masa y el grado de absorción:
  - a. Peso específico de masa: El peso específico de masa se calcula dividiendo el peso seco de la muestra entre el volumen ocupado por la muestra. El volumen se puede determinar utilizando el desplazamiento de agua o mediante un método de desplazamiento de aire. El resultado se expresa en  $\text{kg/m}^3$  o  $\text{lb/ft}^3$ .

- b. Grado de absorción: El grado de absorción se calcula dividiendo la diferencia entre el peso saturado y el peso seco de la muestra entre el peso seco de la muestra, y luego multiplicándolo por 100 para obtener el porcentaje.

**Cálculo:**

Para obtener el peso específico del agregado grueso usaremos la siguiente ecuación:

$$\gamma_{A.G} = \frac{W_s}{W_{SSS} - W_{sa}}$$

**Donde:**

$\gamma_{AG}$ : Peso específico del agregado grueso.

$W_s$ : Peso de la piedra secada al horno (muestra en estado seco).

$W_{SSS}$ : Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

$W_{sa}$ : Peso de la muestra saturada dentro del agua.

Para obtener el peso específico de la masa saturada superficialmente seca usaremos la siguiente ecuación:

$$\gamma_{SSS} = \frac{W_{SSS}}{W_{SSS} - W_{sa}}$$

**Donde:**

$\gamma_{SSS}$ : Peso específico de la masa saturada superficialmente seca.

$W_{sa}$ : Peso de la muestra saturada dentro del agua.

$W_{SSS}$ : Peso de la muestra saturada superficialmente seca.

Para obtener el peso específico aparente del agregado grueso necesitaremos la siguiente ecuación:

$$\gamma_{ap} = \frac{W_s}{W_s - W_{sa}}$$

**Donde:**

$\gamma_{ap}$ : Peso específico aparente.

$W_s$ : Peso de la piedra secada al horno (muestra en estado seco).



**Peso volumétrico suelto del agregado fino y grueso:**

El peso volumétrico suelto del agregado fino y grueso se refiere al peso por unidad de volumen del agregado cuando se encuentra en un estado suelto o no compactado. Es una medida que indica la densidad aparente del agregado en condiciones sin compactación. El peso volumétrico suelto es utilizado en la dosificación y diseño de mezclas de concreto para determinar la cantidad de agregado requerida.

**Normativa:**

Determinación del peso volumétrico suelto para el agregado fino y grueso según la ASTM C 29 ó NTP 400.017.

**Objetivo:**

Determinar la densidad de masa o peso unitario del agregado fino y grueso

**Procedimientos:**

El procedimiento para determinar el peso volumétrico suelto del agregado fino y grueso se puede realizar siguiendo los siguientes pasos:

- Preparación de la muestra: Se debe tomar una muestra representativa del agregado fino o grueso de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables. La muestra se debe recolectar de diferentes puntos y se debe mezclar para obtener una muestra homogénea.
- Medición del volumen del recipiente: Se debe medir el volumen del recipiente utilizado para contener el agregado suelto. Esto se puede hacer mediante el uso de un recipiente cilíndrico conocido como frasco de Chapman o utilizando un recipiente de volumen conocido.
- Llenado del recipiente: Se debe llenar el recipiente con el agregado fino o grueso en estado suelto. Se debe verter el agregado cuidadosamente en el recipiente para evitar la segregación y compactación.
- Nivelación del agregado: Se debe nivelar la superficie del agregado en el recipiente utilizando una regla o una espátula. Asegúrese de que la superficie del agregado esté uniforme y sin hendiduras.

- **Peso del recipiente con el agregado:** Se debe pesar el recipiente lleno de agregado suelto. Este peso se registra como el peso húmedo del agregado.
- **Peso del recipiente vacío:** Se debe pesar el recipiente vacío. Este peso se registra como el peso del recipiente.
- **Cálculo del peso del agregado:** El peso del agregado se calcula restando el peso del recipiente vacío del peso del recipiente con el agregado.
- **Cálculo del peso volumétrico suelto:** El peso volumétrico suelto se calcula dividiendo el peso del agregado por el volumen del recipiente. El resultado se expresa en kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>.

**Cálculo:**

Para obtener el peso unitario suelto seco del agregado fino y grueso usaremos la siguiente ecuación:

$$PUSS = \frac{PUSH}{1 + H}$$

**Donde:**

PUSS: Peso unitario suelto seco del agregado fino o grueso.

PUSH: Peso unitario suelto húmedo del agregado fino o grueso que se obtiene de la división del peso del agregado entre el volumen del molde.

H: Contenido de humedad del agregado fino o grueso.

**Peso volumétrico varillado del agregado fino y grueso:****Normativa:**

Determinación del peso volumétrico varillado para el agregado fino y grueso según la ASTM C 29 ó NTP 400.017.

**Objetivo:**

Determinar la densidad de masa o peso unitario del agregado fino y grueso.

**Procedimientos:**

- Preparación de la muestra: Toma una muestra representativa del agregado fino o grueso de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas aplicables. La muestra debe ser mezclada para obtener una muestra homogénea.
- Selección del recipiente y varilla: Utiliza un recipiente de volumen conocido y una varilla de tamaño y forma adecuados. El recipiente debe tener una capacidad suficiente para contener el agregado y permitir la compactación con la varilla.
- Llenado del recipiente: Llena el recipiente con el agregado fino o grueso en estado suelto. Vierte el agregado cuidadosamente en el recipiente para evitar la segregación y asegúrate de que el nivel esté por debajo de la parte superior del recipiente.
- Compactación con la varilla: Utiliza la varilla para compactar el agregado en el recipiente. Inserta la varilla en el agregado y realiza movimientos de compactación, como golpear suavemente o agitar el recipiente, de manera uniforme y distribuida en todo el volumen. Continúa compactando hasta que se logre una densificación adecuada.
- Nivelación del agregado: Una vez que se haya completado la compactación, utiliza una regla o espátula para nivelar la superficie del agregado en el recipiente. Asegúrate de que la superficie esté uniforme y sin hendiduras.
- Peso del recipiente con el agregado compactado: Pesa el recipiente lleno de agregado compactado. Registra este peso como el peso compactado del agregado.
- Peso del recipiente vacío: Pesa el recipiente vacío. Registra este peso como el peso del recipiente.
- Cálculo del peso del agregado compactado: Resta el peso del recipiente vacío del peso del recipiente con el agregado compactado para obtener el peso del agregado compactado.

- Cálculo del peso volumétrico varillado: Divide el peso del agregado compactado por el volumen del recipiente. El resultado es el peso volumétrico varillado del agregado, que se expresa en kg/m<sup>3</sup> o lb/ft<sup>3</sup>.

A continuación, se pasa a describir la manera de hallar el peso unitario del agregado grueso precisamente para el diseño de mezcla posterior.

$$\text{Peso Unitario del Agregado} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso recipiente}}{\text{Volumen del recipiente}}$$



*Ilustración 17: Varillado de agregado fino*



*Ilustración 18: Vaciado de agregado grueso a molde*



*Ilustración 19: Peso de molde vacío*



*Ilustración 20: Tesista con peso unitario*



*Ilustración 21: Varillado de agregado grueso*

### **Ensayo de asentamiento NTP 339.035**

El ensayo de asentamiento, también conocido como ensayo cono de Abrams, es utilizado para determinar la consistencia o fluidez del concreto fresco. A continuación, se presenta un procedimiento básico a seguir para realizar este ensayo según la norma técnica peruana NTP 339.035.

#### **Procedimientos:**

Preparación del equipo y los materiales:

- Reúne el equipo necesario, que incluye un cono de Abrams, una varilla de compactación, una regla y una bandeja de mezcla.
- Prepara la muestra de concreto fresco que se utilizará en el ensayo. La muestra debe ser representativa del concreto que se está evaluando.

Colocación del cono:

- Coloca el cono de Abrams sobre una superficie plana y estable, preferiblemente una base de concreto liso.
- Humedece el interior del cono y la superficie exterior para evitar la adhesión del concreto.

Llenado del cono:

- Llena el cono de Abrams en tres capas iguales, cada una de aproximadamente un tercio de la altura del cono.
- Compacta cada capa con la varilla de compactación, realizando una cantidad fija de golpes uniformemente distribuidos en toda la superficie de la capa. Los golpes deben ser verticales y penetrar ligeramente la capa anterior.

Retirada del cono:

- Después de compactar la última capa, levanta el cono verticalmente de manera rápida y uniforme. Este proceso debe realizarse de forma brusca para evitar la deformación del cono.
- El cono se retirará verticalmente hacia arriba, sin sacudir ni girar. Se dejará el cono de concreto sobre la base y se nivelará.

Medición del asentamiento:

- Mide la diferencia entre la altura original del cono y la altura máxima alcanzada por el concreto después de retirar el cono. Esta diferencia se conoce como asentamiento o slump.

- Utiliza una regla para medir el asentamiento desde la parte superior del cono hasta la parte más alta del concreto.

Registro de resultados:

- Registra el valor del asentamiento obtenido en milímetros



*Ilustración 22: Asentamiento de concreto patrón*



*Ilustración 23: Asentamiento patrón 4 pulgadas*



*Ilustración 24: Asentamiento concreto con fibras de acero y microsilice*

## **Ensayos Mecánicos**

Los ensayos mecánicos se centran en el concreto una vez que ha alcanzado su estado endurecido. Antes de esto, es necesario realizar el proceso de curado de los especímenes cilíndricos y en forma de viga, siguiendo el estándar ASTM C31. Una vez completado el curado, se procederá a llevar a cabo las siguientes determinaciones:

### **Resistencia a la Compresión (NTP 339.034)**

Según la NTP 339.034, el procedimiento para determinar la resistencia a la compresión implica la preparación de muestras cilíndricas de concreto, generalmente con dimensiones estandarizadas, y su posterior ensayo en una máquina de compresión. Durante el ensayo, se aplica una carga gradualmente creciente sobre la muestra de concreto hasta que se produce su falla por compresión.

La resistencia a la compresión del concreto se expresa en unidades de presión, comúnmente en megapascuales (MPa) o en psi (libras por pulgada cuadrada). Es un parámetro fundamental utilizado para evaluar la calidad y el desempeño del concreto en diferentes aplicaciones de la construcción.

La NTP 339.034 establece los requisitos técnicos para la realización del ensayo de resistencia a la compresión del concreto, incluyendo aspectos como la preparación de las muestras, los tiempos de curado, las condiciones de ensayo y los criterios para la interpretación de los resultados. Esta norma asegura que se realicen las mediciones de manera estandarizada y confiable, permitiendo una evaluación precisa de la resistencia a la compresión del concreto.

### **Resistencia a la Compresión (NTP 339.034)**

El procedimiento para determinar la resistencia a la compresión del concreto generalmente sigue los siguientes pasos:

- Preparación de las muestras: Se deben preparar muestras cilíndricas de concreto utilizando moldes o cilindros de ensayo específicos. Estos moldes se llenan con concreto fresco, compactándolo adecuadamente para eliminar el aire atrapado y asegurar una distribución uniforme del material.
- Curado de las muestras: Después de la preparación, las muestras se deben curar en condiciones controladas para permitir el desarrollo adecuado de las propiedades del

concreto. Esto generalmente implica mantener las muestras en un ambiente húmedo y a una temperatura constante durante un período de tiempo determinado, según las especificaciones técnicas aplicables.

- **Ensayo de compresión:** Una vez que las muestras han sido curadas, se procede al ensayo de compresión. Las muestras se colocan en una máquina de ensayo de compresión, que aplica una carga gradualmente creciente sobre ellas. La carga se aplica de manera uniforme y controlada hasta que la muestra se rompe o falla por compresión.
- **Registro de los datos:** Durante el ensayo de compresión, se registran los datos relevantes, como la carga aplicada y la deformación o desplazamiento de la muestra. Estos datos se utilizan posteriormente para calcular la resistencia a la compresión del concreto.
- **Cálculo de la resistencia a la compresión:** La resistencia a la compresión se calcula dividiendo la carga máxima aplicada sobre la muestra por el área transversal promedio de la muestra. El resultado se expresa en unidades de presión, como megapascuales (MPa) o psi (libras por pulgada cuadrada).



*Ilustración 25: Diámetro de probeta*



*Ilustración 26: Probeta sometida a compresión*



*Ilustración 27: Probeta ensayada a compresión*

### **Resistencia a la flexión**

Según se establece, para calcular la resistencia a la flexión del concreto se utiliza una viga simple que se carga en los tercios de la distancia entre los apoyos. Mediante este método se obtiene el valor del módulo de ruptura, conocido como  $M_r$ .

### **Procedimiento**

El procedimiento para determinar la resistencia a la flexión de vigas prismáticas generalmente sigue los siguientes pasos:

- Preparación de la muestra: Se deben preparar las vigas prismáticas de acuerdo con las dimensiones y características requeridas por las normas y especificaciones técnicas aplicables. Las vigas se deben construir con el mismo concreto que se utilizará en la obra.
- Curado de las muestras: Después de la preparación, las vigas se deben curar en condiciones controladas para permitir el desarrollo adecuado de las propiedades del

concreto. Esto generalmente implica mantener las vigas en un ambiente húmedo y a una temperatura constante durante un período de tiempo determinado.

- Carga en los tercios de la luz: Las vigas prismáticas se someten a una carga en los tercios de su luz, lo que significa que se aplican cargas de flexión en puntos específicos a lo largo de la viga. Esto se puede lograr utilizando un equipo de carga adecuado, como un dispositivo de carga central o un dispositivo de carga en dos puntos.
- Registro de los datos: Durante la aplicación de la carga, se deben registrar los datos relevantes, como la carga aplicada y los desplazamientos o deformaciones de la viga. Estos datos se utilizan posteriormente para calcular la resistencia a la flexión.
- Cálculo de la resistencia a la flexión: La resistencia a la flexión se calcula utilizando la fórmula adecuada según las normas y especificaciones aplicables. En general, se utiliza la ecuación de flexión que relaciona la carga aplicada, las dimensiones de la viga y los momentos de inercia.

Se empleó una viga de un solo apoyo con carga aplicada en los tercios de su longitud libre, donde se observó que el punto de fractura ocurrió en la zona de tensión, dentro del tercio libre. Por tanto, la fórmula a utilizar en este caso es la siguiente:



*Ilustración 28: Medición de viga*



*Ilustración 29: Rotura de viga ensayada a flexión*



*Ilustración 30: Viga sometida a flexión*



*Ilustración 31: Llenado de probeta con adiciones*

## Resultados y discusión

### Resultados de ensayos de materiales utilizados

#### Cemento

Tipo de cemento: Cemento tipo I para uso general

Peso específico: 3.10 gr/cm<sup>3</sup>

#### Agregado Fino

Consistente en una muestra de arena gruesa procedente de la cantera LA VICTORIA, en el distrito de PÁTAPO.

Tabla 4: Análisis granulométrico de la arena gruesa

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
1/2"	12.700	0	0.0	0.0	100.0	100	100
3/8"	9.500	0	0.0	0.0	100.0	100	100
Nº 04	4.750	20.2	4.1	4.1	95.9	95	100
Nº 08	2.360	75.3	15.3	19.4	80.6	80	100
Nº 16	1.180	101.8	20.7	40.1	59.9	50	85
Nº 30	0.600	98.3	20.0	60.1	39.9	25	60
Nº 50	0.300	80.9	16.4	76.5	23.5	10	30
Nº 100	0.150	73.2	14.9	91.4	8.6	2	10
Fondo		42.5	8.6	100.0	0.0		
Módulo de Fineza				2.915			
Abertura de malla de referencia				9.500			

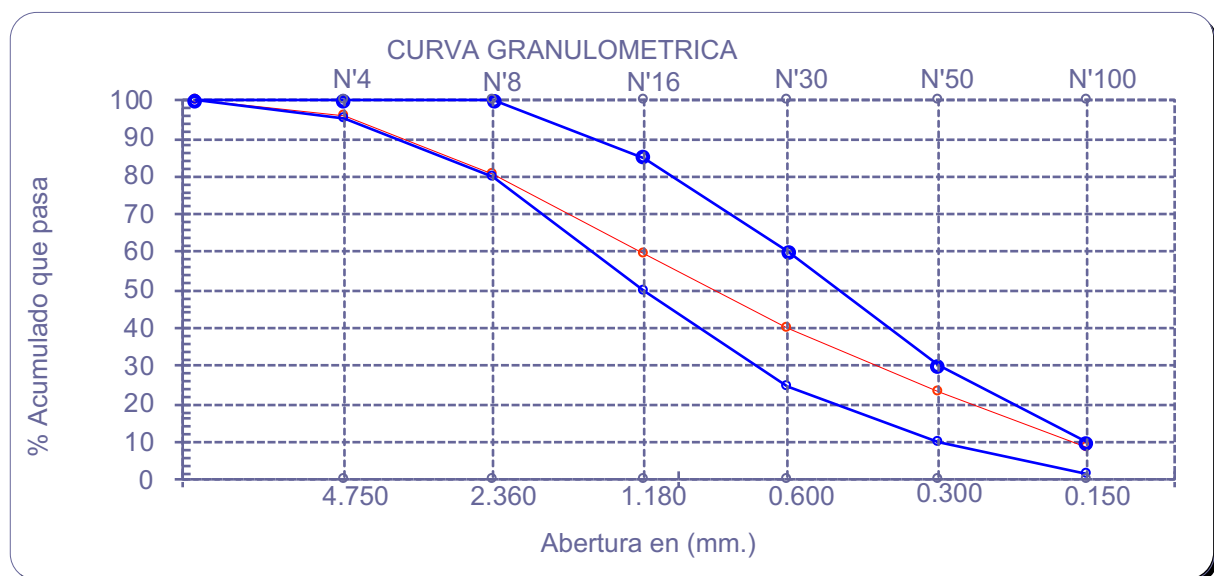


Gráfico 1: Curva granulométrica para el agregado fino

## Peso específico

1.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca.	500.0
2.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso frasco + Peso del agua.	997.6
3.- Peso de la Muest. Sat. Sup. Seca + Peso del frasco.	684.0
4.- Peso del Agua.	313.6
5.- Peso del Frasco	184.0
6.- Peso de la Muest. secada ahorno + Peso del frasco.	679.2
7.- Peso de la Muest. seca en el horno.	495.2
8.- Volumen del frasco.	500.0
A.- PESO ESPECIFICO DE LA ARENA.	2.657
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	2.682
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	2.727
D.- PORCENTAJE DE ABSORCIÓN.	0.97

## Peso unitario suelto

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	g.	19199.0
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	8470.0
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1556
Peso unitario suelto seco	kg/m <sup>3</sup>	1532

## Peso unitario compactado

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	g.	20455.5
Peso de molde de ensayo vacío	g.	10729
Peso neto muestra contenida	g.	9726.5
Volumen del molde de ensayo	m <sup>3</sup>	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	kg/m <sup>3</sup>	1787
Peso unitario compactado seco	kg/m <sup>3</sup>	1759

## Contenido de humedad

A.- Peso muestra húmeda + peso de tara	g	584.8
B.- Peso muestra seca + peso de tara	g	577.0
C.- Peso de agua	g	7.8
D.- Peso de tara	g	84.8
E.- Contenido de Humedad	%	1.58

## Agregado Grueso

Consistente en una muestra de arena gruesa procedente de la cantera LA VICTORIA, en el distrito de PÁTAPÓ.

Tabla 5: Análisis granulométrico de la arena gruesa

Malla		Peso Ret.	(%) Ret.	(%) Acum. Ret.	(%) Acum. Que Pasa	Especificaciones:	
Pulg.	(mm.)						
2"	50.000	0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.000	0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.000	410.1	2.9	2.9	97.1	95	100
3/4"	19.000	3545.7	25.1	28.0	72.0		
1/2"	12.700	5489.2	38.8	66.8	33.2	25	60
3/8"	9.520	1887.2	13.3	80.1	19.9		
Nº 04	4.750	1903	13.5	93.6	6.4	0	10
Nº 08	2.360	289.4	2.0	95.6	4.4	0	5
Nº 16	1.190	150.3	1.1	96.7	3.3		
Fondo		467.1	3.3	98.9	1.1		
Tamaño Máximo			1"	25.000			
Tamaño Máximo Nominal			3/4"	19.000			

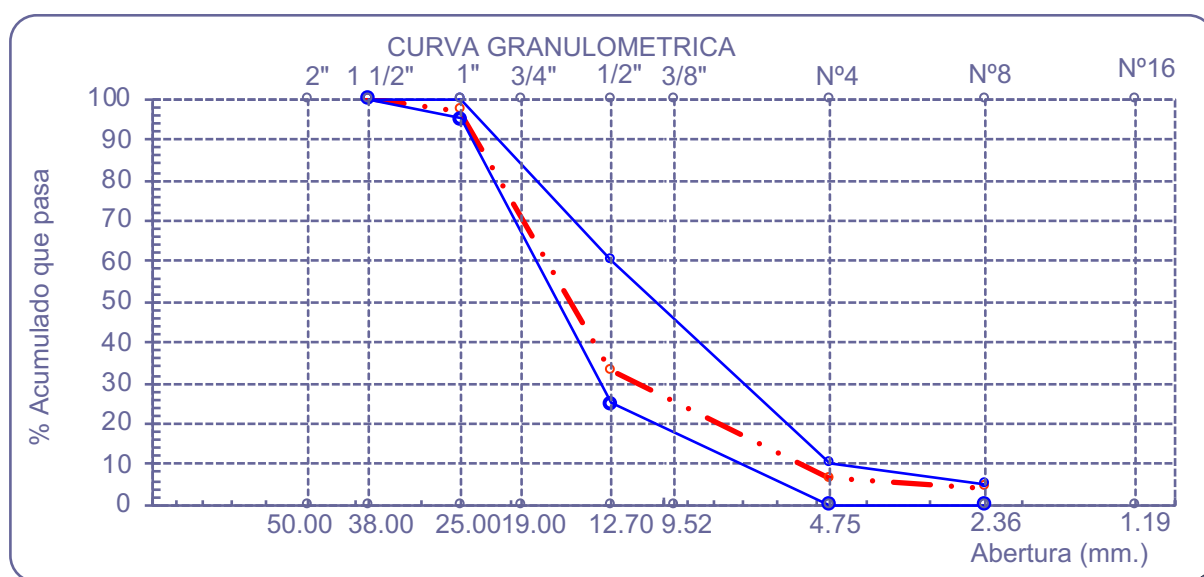


Gráfico 2: Curva granulométrica para el agregado grueso

Peso específico:

### I.- Datos.

1.- Peso de la muestra seca al horno	g	1485.0
2.- Peso de la muestra saturada superficialmente seca	g	1500.0
3.- peso de la muestra saturada dentro del agua+peso de la canastil	g	1681.0
4.- Peso de la canastilla	g	735.0
5.- Peso de la muestra saturada dentro del agua	g	946.0

**II .- Resultados**

A.- PESO ESPECIFICO DE LA GRAVA.	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	2.681
B.- PESO ESPECIFICO DE LA MASA S.S.S.	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	2.708
C.- PESO ESPECIFICO APARENTE	<i>g/cm<sup>3</sup></i>	2.755
D.- PORCENTAJE DE ABSORCION.	%	1.01

Peso unitario suelto:

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra contenida	<i>g.</i>	18169.0
Peso de molde de ensayo vacío	<i>g.</i>	10729
Peso neto muestra contenida	<i>g.</i>	7440.0
Volumen del molde de ensayo	<i>m<sup>3</sup></i>	0.00544
Peso unitario suelto húmedo	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	1367
Peso unitario suelto seco	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	1362

Peso unitario compactado:

Molde de ensayo		
Número de determinación		A
Peso de molde de ensayo vacío + peso muestra húmeda	<i>g.</i>	19346.5
Peso de molde de ensayo vacío	<i>g.</i>	10729
Peso neto muestra contenida	<i>g.</i>	8617.5
Volumen del molde de ensayo	<i>m<sup>3</sup></i>	0.00544
Peso unitario compactado húmedo	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	1583
Peso unitario compactado seco	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	1578

Contenido de humedad:

A.- Peso muestra húmeda + peso de tara	<i>g</i>	1036.2
B.- Peso muestra seca + peso de tara	<i>g</i>	1033.1
C.- Peso de agua	<i>g</i>	3.1
D.- Peso de tara	<i>g</i>	96.4
E.- Contenido de Humedad	%	0.33

**Microsilice**

Se utilizó la MICRISILICE Z, con un peso específico de 2.4 gr/cm<sup>3</sup>.

**Policarboxilato**

Se utilizó un Aditivo Z FLUIDIZANTE SR, con un peso específico de 1.4 gr/cm<sup>3</sup>.



*Ilustración 32: Micro sílice en balanza*



*Ilustración 33: Tesista extrayendo policarboxilato*

## **Agua**

Se utilizó agua potable con PH = 7 neutro y peso específico = 1 gr/cm<sup>3</sup>.

## Resultados de resistencia a compresión y módulo de rotura

### Resultado del diseño patrón

Diseño de mezclas preliminar ( $f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general

Características Generales

Denominación -----	$f^c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m<sup>3</sup> de concreto en obra

Cemento -----	402 Kg/m <sup>3</sup>
Arena -----	775 kg/m <sup>3</sup>
Piedra -----	935 kg/m <sup>3</sup>
Agua -----	249 Lt/m <sup>3</sup>
Aditivo -----	3.40 Lt/m <sup>3</sup>

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 20kg/m3 fibra acero + 8% microsíllice)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general  
Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m3 de concreto en obra

Cemento -----	369.84 Kg/m3
Arena -----	775 kg/m3
Piedra -----	935 kg/m3
Agua -----	249 Lt/m3
Aditivo -----	3.40 Lt/m3
Microsíllice-----	32.16 kg/m3
Fibra de acero-----	20 kg/m3

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsíllice-----	3.69 kg
Fibra de acero-----	2.12 kg

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 20kg/m3 fibra acero + 10% microsíllice)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general

#### Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

#### Cantidad de material por m3 de concreto en obra

Cemento -----	361.8 Kg/m3
Arena -----	775 kg/m3
Piedra -----	935 kg/m3
Agua -----	249 Lt/m3
Aditivo -----	3.40 Lt/m3
Microsíllice-----	40.2 kg/m3
Fibra de acero-----	20 kg/m3

#### Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsíllice-----	4.72 kg
Fibra de acero-----	2.12 kg

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 20kg/m3 fibra acero + 12% microsíllice)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general  
Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m3 de concreto en obra

Cemento -----	353.76 Kg/m3
Arena -----	775 kg/m3
Piedra -----	935 kg/m3
Agua -----	249 Lt/m3
Aditivo -----	3.40 Lt/m3
Microsíllice-----	48.24 kg/m3
Fibra de acero-----	20 kg/m3

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsíllice-----	5.67 kg
Fibra de acero-----	2.12 kg

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 30kg/m3 fibra acero + 8% microsíllice)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general  
Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m3 de concreto en obra

Cemento -----	369.84 Kg/m3
Arena -----	775 kg/m3
Piedra -----	935 kg/m3
Agua -----	249 Lt/m3
Aditivo -----	3.40 Lt/m3
Microsíllice-----	32.16 kg/m3
Fibra de acero-----	30 kg/m3

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsíllice-----	3.69 kg
Fibra de acero-----	3.18 kg

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 30kg/m3 fibra acero + 10% microsíllice)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general  
Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m3 de concreto en obra

Cemento -----	361.8 Kg/m3
Arena -----	775 kg/m3
Piedra -----	935 kg/m3
Agua -----	249 Lt/m3
Aditivo -----	3.40 Lt/m3
Microsíllice-----	40.2 kg/m3
Fibra de acero-----	30 kg/m3

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsíllice-----	4.72 kg
Fibra de acero-----	3.18 kg

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 30kg/m3 fibra acero + 12% microsíllice)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general  
Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m3 de concreto en obra

Cemento -----	353.76 Kg/m3
Arena -----	775 kg/m3
Piedra -----	935 kg/m3
Agua -----	249 Lt/m3
Aditivo -----	3.40 Lt/m3
Microsíllice-----	48.24 kg/m3
Fibra de acero-----	30 kg/m3

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsíllice-----	5.67 kg
Fibra de acero-----	3.18 kg

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 40kg/m<sup>3</sup> fibra acero + 8% microsílíce)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general  
Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m<sup>3</sup> de concreto en obra

Cemento -----	369.84 Kg/m <sup>3</sup>
Arena -----	775 kg/m <sup>3</sup>
Piedra -----	935 kg/m <sup>3</sup>
Agua -----	249 Lt/m <sup>3</sup>
Aditivo -----	3.40 Lt/m <sup>3</sup>
Microsílíce-----	32.16 kg/m <sup>3</sup>
Fibra de acero-----	40 kg/m <sup>3</sup>

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsílíce-----	3.69 kg
Fibra de acero-----	4.24 kg

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 40kg/m<sup>3</sup> fibra acero + 10% microsílíce)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general  
Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m<sup>3</sup> de concreto en obra

Cemento -----	361.8 Kg/m <sup>3</sup>
Arena -----	775 kg/m <sup>3</sup>
Piedra -----	935 kg/m <sup>3</sup>
Agua -----	249 Lt/m <sup>3</sup>
Aditivo -----	3.40 Lt/m <sup>3</sup>
Microsílíce-----	40.2 kg/m <sup>3</sup>
Fibra de acero-----	40 kg/m <sup>3</sup>

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsílíce-----	4.72 kg
Fibra de acero-----	4.24 kg

### Resultado del diseño ( diseño patrón + 40kg/m<sup>3</sup> fibra acero + 12% microsíllice)

Diseño de mezclas preliminar ( $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ) cemento tipo I para uso general  
Características Generales

Denominación -----	$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$
Asentamiento -----	3" – 4"
Relación a/c de diseño -----	0.620
Relación a/c de obra -----	0.625
Proporciones en obra -----	1: 1.93 : 2.33

Cantidad de material por m<sup>3</sup> de concreto en obra

Cemento -----	353.76 Kg/m <sup>3</sup>
Arena -----	775 kg/m <sup>3</sup>
Piedra -----	935 kg/m <sup>3</sup>
Agua -----	249 Lt/m <sup>3</sup>
Aditivo -----	3.40 Lt/m <sup>3</sup>
Microsíllice-----	48.24 kg/m <sup>3</sup>
Fibra de acero-----	40 kg/m <sup>3</sup>

Cantidad de material por bolsa de cemento en obra

Cemento -----	42.5 Kg
Arena -----	82.03 kg
Piedra -----	99.03 kg
Agua -----	26.4 Lt
Aditivo -----	0.36 Lt
Microsíllice-----	5.67 kg
Fibra de acero-----	4.24 kg

## Resultados de probetas a compresión

Tabla 6: Resultados de probetas a compresión

Muestra Nº	Denominación ó descripción del vaciado	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Día s	f <sub>c</sub> kg/cm <sup>2</sup>	f <sub>c</sub> promedi o kg/cm <sup>2</sup>
01	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	17/10/22	7	243	235
02	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	17/10/22	7	226	
03	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	17/10/22	7	235	
04	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	24/10/22	14	278	270
05	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	24/10/22	14	267	
06	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	24/10/22	14	265	
07	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	7/11/22	28	283	284
08	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	7/11/22	28	279	
09	DISEÑO PATRÓN CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup>	10/10/22	7/11/22	28	289	
10	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	249	239
11	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	232	
12	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	235	
13	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	276	276
14	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	274	
15	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	279	
16	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	277	290
17	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	283	
18	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	310	
19	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	238	240
20	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	242	
21	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	240	
22	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	253	262
23	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	270	

24	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	264	
25	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	346	333
26	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	315	
27	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	338	
28	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	237	237
29	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	234	
30	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	240	
31	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	271	270
32	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	269	
33	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	270	
34	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	337	325
35	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	312	
36	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	326	
37	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	244	242
38	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	240	
39	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	242	
40	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	296	294
41	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	291	
42	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	295	
43	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	329	349
44	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	382	
45	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	335	
46	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	249	249
47	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	247	
48	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	251	
49	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	301	281
50	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	275	

51	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	268	
52	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	330	342
53	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	359	
54	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	336	
55	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	216	222
56	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	229	
57	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	220	
58	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	261	265
59	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	265	
60	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	268	
61	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	340	338
62	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	335	
63	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	339	
64	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	233	230
65	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	227	
66	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	231	
67	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	274	273
68	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	272	
69	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	274	
70	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	299	298
71	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	307	
72	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	287	
73	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	232	226
74	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	222	
75	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	225	
76	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	277	270
77	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	267	

78	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	266	
79	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	292	294
80	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	298	
81	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	293	
82	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	185	212
83	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	234	
84	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	31/10/22	7	217	
85	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	259	259
86	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	260	
87	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	7/11/22	14	258	
88	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	291	293
89	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	295	
90	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilice	24/10/22	21/11/22	28	293	

Promedio de las resistencias a compresión a 28 días:

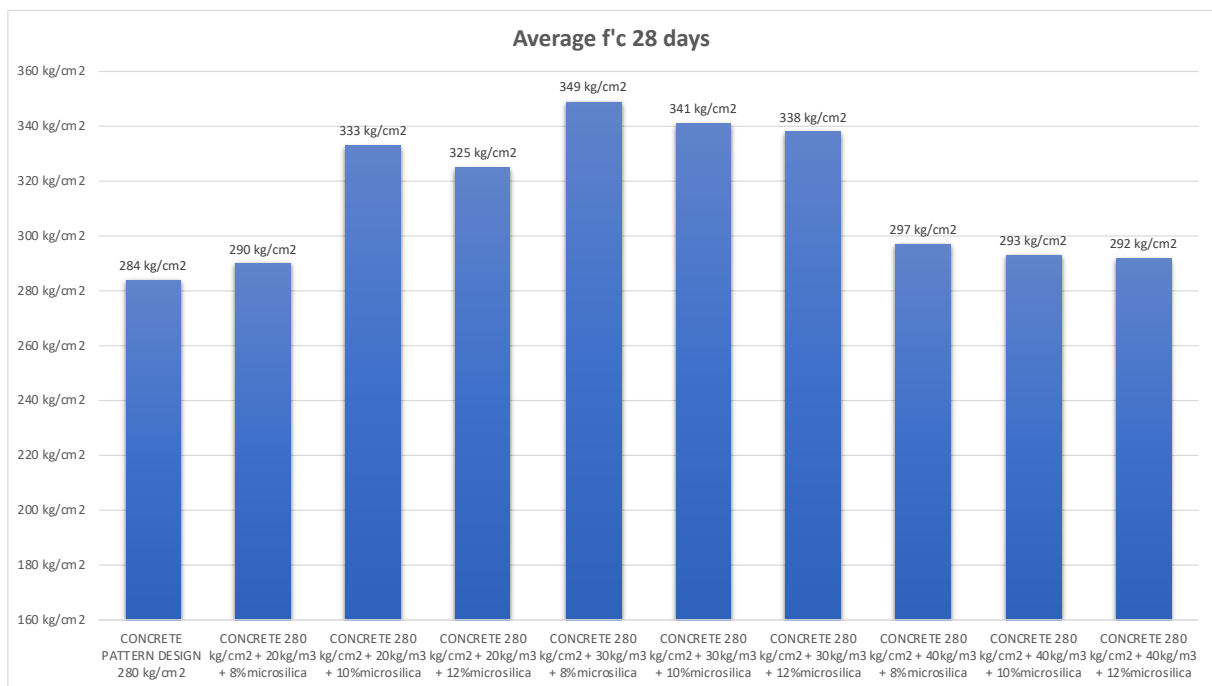


Gráfico 3: Promedio de las resistencias a compresión a 28 días

De los ensayos realizados se obtuvo el anterior diagrama, del que se pudo observar que el diseño de concreto  $f'c$  280 kg/cm<sup>2</sup> dosificado con 30kg/m<sup>3</sup> + 8% de microsilica, es la dosificación que mejores resultados ofrece en cuanto al aumento de la resistencia de compresión obtenido de un valor promedio de 3 testigos, siendo este 349 kg/cm<sup>2</sup>.

En el gráfico de barras, podemos observar la evolución de la resistencia a la compresión ( $f'c$ ) del concreto patron frente a la evolución del concreto dosificado con 8% de fibra de acero + 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero, a una edad de 28 días, edad en la que se alcanza la máxima resistencia a la compresión.

### Resultados de las vigas a flexión

*Tabla 7: Resultados de las vigas a flexión*

Muestra Nº	Denominación de Especimen	Fecha de Vaciado	Fecha de Ensayo	Antigüedad del Especimen	Módulo de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> )	Módulo de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio
1	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> MUESTRA PATRON	24/10/22	7/11/22	14	29.6	30.735
2	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> MUESTRA PATRON	24/10/22	7/11/22	14	31.87	
3	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> MUESTRA PATRON	24/10/22	21/11/22	28	43.21	42.07
4	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> MUESTRA PATRON	24/10/22	21/11/22	28	40.93	
5	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	47.58	46.35
6	CONCRETO 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	45.12	
7	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	49.07	47.78
8	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	46.49	

9	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	44.72	45.32
10	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	45.92	
11	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	56.54	55.86
12	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	55.18	
13	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	59.38	57.24
14	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	55.1	
15	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	53.36	52.48
16	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	51.6	
17	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	47.34	48.07
18	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	48.8	
19	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	44.85	47.33
20	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	49.81	
21	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	42.91	44.82

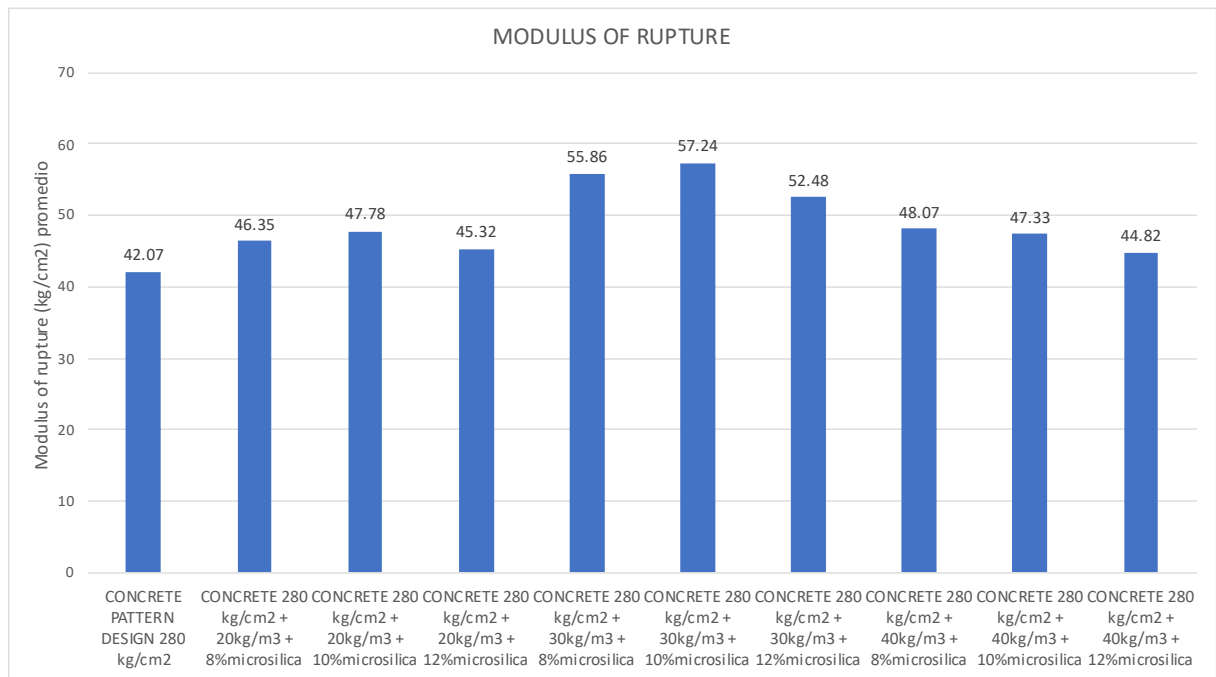
22	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	24/10/22	21/11/22	28	46.73
----	------------------------------------------------------------------------------	----------	----------	----	-------

### Resultados de los módulos de rotura

Para la presente investigación, se realizaron 2 vigas prismáticas para el concreto patrón y por cada dosificación de adiciones, que posteriormente fueron ensayadas a flexión, de esta manera pudiendo calcular el módulo de ruptura. A continuación, se muestran los promedios de los resultados del ensayo de flexión realizado a cada diseño de mezcla.

*Tabla 8: Resultados de los módulos de rotura*

Muestra Nº	Denominación de Espécimen	Antigüedad del Espécimen	Módulo de Rotura (Kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio
01	CONCRETE PATTERN DESIGN 280 kg/cm <sup>2</sup>	28	42.07
02	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	28	46.35
03	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	28	47.78
04	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 20kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	28	45.32
05	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	28	55.86
06	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	28	57.24
07	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 30kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	28	52.48
08	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 8%microsilica	28	48.07
09	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 10%microsilica	28	47.33
10	CONCRETE 280 kg/cm <sup>2</sup> + 40kg/m <sup>3</sup> + 12%microsilica	28	44.82



*Gráfico 4: Módulo de ruptura*

Como se puede apreciar en el gráfico anterior, la dosificación que alcanza los mejores resultados es la dosificación 10% de microsilíce + 30kg/m<sup>3</sup>, teniendo un valor de módulo de ruptura de 57.24 kg/cm<sup>2</sup>. Mientras que la dosificación que obtiene menor módulo de ruptura es la dosificación 12% de microsilíce + 40 kg/m.

### **Resultados de análisis de costo unitario**

Tabla 9: Resultado de análisis de costos unitarios

ANÁLISIS DE COSTOS UNITARIOS						
Partida: Concreto f'c= 280 kg/cm2 con 8% de microsilíce y 30kg/m3 de fibras metálicas					Costo S/.	949.20
Rendimiento	m2/d	12.00	MO:12	EQ:12		
Recursos	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Sub Total S/.
<b>Mano de Obra</b>						<b>145.37</b>
Capataz	hh	0.10	0.067	20.20	1.35	
Operario	hh	1.00	0.667	26.22	17.48	
Oficial	hh	2.00	1.333	20.30	27.07	
Peón	hh	8.00	5.333	18.65	99.47	
<b>Materiales</b>						<b>789.10</b>
Aceite de Motor	% equipo		2.500	9.34	0.23	
Gasolina	gal		0.150	12.71	1.91	
Cemento Portland tipo I (42.5Kg)	bol		8.702	22.03	191.71	
Agua	m3		0.249	6.13	1.53	
Agregado grueso	m3		0.250	54.15	13.54	
Agregado fino	m3		0.410	49.15	20.15	
Superpastificante	lts		3.400	7.92	26.93	
Microsilíce 8%	kg		32.16	4.45	143.11	
Fibra metálica	kg		30.00	13.00	390.00	
<b>Equipos</b>						<b>14.73</b>
Vibrador de concreto 4HP 1.25"	hm	1.00	0.667	4.00	2.67	
Mezcladora de concreto	hm	1.00	0.667	10.00	6.67	
Herramientas	%MO		5.000	107.92	5.40	

En la anterior tabla, se muestra el resultado del análisis de costo unitario por m<sup>3</sup> de concreto para pavimentos, para una dosificación de las adiciones de 30kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero + 8% de microsilíce, mostrando un costo de seiscientos cuarenta con 85/100 céntimos.

### Discusión de Resultados

- De acuerdo con los resultados experimentales obtenidos en el laboratorio se puede visualizar que con la mezcla de 8% de microsilíce y 30 kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero presenta un aumento significativo de la resistencia a la compresión cuando se agrega estos elementos.
- Se puede observar al mismo tiempo que si se incorpora demasiada microsilíce en el diseño de mezcla del concreto, puede haber una disminución en la resistencia a compresión. La microsilíce es un aditivo fino que se agrega al concreto para mejorar sus propiedades, como la resistencia, la durabilidad y la trabajabilidad. Sin embargo, el exceso de microsilíce puede tener un efecto adverso en la resistencia a compresión.

Esto puede deberse a que la microsilíce es un material altamente reactivo que se combina con la hidratación del cemento para formar gel de sílice, que ayuda a llenar los espacios

entre los agregados y fortalece la matriz de concreto. Sin embargo, si se agrega una cantidad excesiva de microsílíce, puede provocar una sobreacción y una mayor cantidad de gel de sílice, lo que puede causar una redistribución no uniforme de la pasta de cemento. Esto puede dar como resultado una menor resistencia a compresión del concreto.

- En la investigación también se observa que la fibra de acero puede aumentar el módulo de rotura del concreto en pavimentos rígidos, esto se debe a su capacidad para mejorar la resistencia a la tracción y la capacidad de carga del concreto en la etapa de fisuración.
- Durante la elaboración de los ensayos, se pudo observar que la microsílíce, debido a ser un material muy fino y altamente reactiva, lo que significa que tiene un alto contenido de finos, aumenta la cantidad de finos en la mezcla de concreto, afectando así negativamente la trabajabilidad y la cohesión de la mezcla, lo que también puede resultar en una disminución en la resistencia a compresión.
- En esta investigación se realizó una evaluación económica del uso de microsílíce y fibras de acero en pavimentos rígidos, arrojando un costo de S/949.20 por m<sup>3</sup>, que, si lo comparamos con un concreto para pavimentos convencional, esta ronda entre los S/120 y S/180 por m<sup>3</sup>, resultando la adición de estas tecnologías más costoso en comparación con la utilización de mezclas convencionales de concreto. Tanto la microsílíce como las fibras de acero son aditivos que agregan valor al concreto y, por lo tanto, tienen un costo adicional en comparación con las mezclas convencionales.

La microsílíce es un material relativamente costoso debido a su producción y procesamiento, y las fibras de acero también tienen un precio más alto que los agregados tradicionales, además puede requerir consideraciones especiales en términos de almacenamiento, transporte y dosificación. Estos materiales suelen ser más delicados y requieren un manejo cuidadoso para evitar su contaminación o daño. Esto puede implicar costos adicionales en términos de logística y capacitación del personal.

## Conclusiones

Como resultado de los ensayos de resistencia a la compresión realizados a 90 testigos cilíndricos, se determinó que el efecto de la microsílíce en conjunto con la fibra de acero sobre el concreto simple, aumenta significativamente su resistencia a la compresión, obteniendo mejores resultados en el diseño de mezcla con una dosificación de 8% de microsílíce y 30kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero, obteniendo un valor promedio de 349 kg/cm<sup>2</sup> a una edad de 28 días. Esto podría mejorar la calidad y el rendimiento del concreto utilizado en el pavimento.

La adición de fibra de acero al diseño de concreto eleva significativamente el módulo de rotura del concreto, teniendo como mejor resultado la dosificación de 10% de microsílíce y 30kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero, siendo este de 57.24kg/cm<sup>2</sup>. esta combinación de adiciones supone una mejora significativa en el concreto simple para pavimentos rígidos. Esto nos puede servir para tener un mejor control de fisuración en el concreto para pavimentos, debido a las cargas de tráfico a los que son sometidos.

Podemos observar que el incorporar microsílíce en grandes cantidades al diseño de mezcla del concreto, afecta de tal manera que existe una disminución en la resistencia a compresión. La microsílíce es un material muy fino y altamente reactiva, lo que significa que tiene un alto contenido de finos. El aumento de la cantidad de finos en la mezcla de concreto puede afectar negativamente la trabajabilidad y la cohesión de la mezcla, lo que también puede resultar en una disminución en la resistencia a compresión.

En cuanto a la evaluación económica se obtuvo que el costo unitario del concreto, para una dosificación de 30kg/m<sup>3</sup> de fibra de acero y 8% de microsílíce, de 949.20 soles.

## **Recomendaciones**

Se considera realizar más ensayos con la adición de microsílice y fibra de acero , ya que se reduce la posibilidad de obtener resultados atípicos o sesgados, o para obtener una mayor base de datos experimental para futuras investigaciones. Por lo tanto, se recomienda realizar un número significativo de ensayos para garantizar una confiabilidad de estas tecnologías para su uso en pavimentos rígidos.

Se recomienda realizar un análisis de los costos y beneficios a largo plazo más extenso, debido a que el uso de microsílice y fibras de acero puede aumentar inicialmente los costos de construcción de los pavimentos rígidos, es importante investigar y evaluar los beneficios a largo plazo. Esto puede incluir el análisis de la vida útil extendida del pavimento, la reducción de los costos de mantenimiento y reparación, así como el impacto en la seguridad vial y la comodidad del usuario. Un estudio económico completo que considere tanto los costos iniciales como los beneficios a largo plazo puede proporcionar una perspectiva más clara de la viabilidad y la rentabilidad del uso de estos materiales.

## Referencias

- [1] Bordin, Gracieli, «Uso de fibras de aço em concreto para pavimentos,» Alegrete: Universidade Federal Do Pampa, 2011.
- [2] Builes, Robinson y Magda Pardo, «Correlación entre las resistencias obtenidas mediante ensayos de compresión y esclerometría en cilindros de concreto normal y modificados con fibra sintética y fibra de acero,» Bogotá: Universidad Católica de Colombia, 2016.
- [3] Carrasco, Robert, «Resistencia por compresión y módulo de rotura en pavimentos rígidos, incorporando microsílíce y un policarboxilato,» Lima: Universidad Ricardo Palma, 2019.
- [4] De la Cruz, Wilmer y Walter Quispe, «Influencia de la adición de fibras de acero en el concreto empleado para pavimentos en la construcción de pistas en la provincia de Huamanga -Ayacucho,» Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2014.
- [5] Dulce, Saira y Susana Villanueva, «Optimización del diseño del concreto estructural elaborado con fibras de acero wirand FFI de Maccaferri para pavimentos rígidos,» Nuevo Chimbote: Universidad Nacional del Santa, 2013.
- [6] Elsaigh, «A Comparative Evaluation of Plain and Steel Fiber Reinforced Concrete Ground Slabs,» Pretoria: University of Pretoria, 2001.
- [7] Montalvo, Marco, «pavimentos rígidos reforzados con fibras de acero versus,» Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú, 2015.
- [8] Sotil, Alfredo y Jorge Zegarra, Análisis comparativo del comportamiento del concreto sin refuerzo, concreto reforzado con fibras de acero wirand® ff3 y concreto reforzado con fibras de acero wirand® ff4 aplicado a losas industriales de pavimento rígido,» Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, 2015.
- [9] American Society for Testing and Materials, «Norma ASTM C 136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,» Estados Unidos, 2003.

[10] Norma Técnica Peruana, «NTP 400.012: Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global,» Perú, 2013.

[11] Norma Técnica Peruana, «NTP 400.037: AGREGADOS. Agregados para concreto. Requisitos,» Perú, 2017.

[12] American Society for Testing and Materials, «Norma ASTM C 566: Standard Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates.,» Estados Unidos, 1997.

[13] Norma Técnica Peruana, «NTP 339.185: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado,» Perú, 2013.

[14] American Society for Testing and Materials, «Norma ASTM C 128: Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate,» Estados Unidos, 1988.

[15] Norma Técnica Peruana, «NTP 400.022: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino,» Perú, 2014.

[16] American Society for Testing and Materials, «Norma ASTM C 127: Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate,» Estados Unidos, 1988.

[17] Norma Técnica Peruana, «NTP 400.021: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso,» Perú, 2018.

[18] American Society for Testing and Materials, «Norma ASTM C 29: Standard Test Method for Unit Weight and Voids in Aggregate,» Estados Unidos, 1990.

[19] Norma Técnica Peruana, «NTP 400.017: AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (“Peso Unitario”) y los vacíos en los agregados,» Perú, 2018.