

# MARTINEZ\_ZAPATA\_2025\_TESIS \_DEFINITIVO.pdf

*por AI LB*

---

**Fecha de entrega:** 28-agosto-2025 03:18p.m. (UTC-0500)

**Identificador de la entrega:** 2736977847

**Nombre del archivo:** MARTINEZ\_ZAPATA\_2025\_TESIS\_DEFINITIVO.pdf (7.95M)

**Total de palabras:** 21500

**Total de caracteres:** 109868

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**“Influencia del microsilice y fibra de alcohol polivinílico en las propiedades físico – mecánicas del concreto estándar – Nuevo Chimbote – 2023”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**Autores:**

Bach. Martinez Rodriguez, Ricardo André

Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

**Asesor:**

Dr. León Bobadilla, Abner Itamar

DNI: 32942184

Código ORCID: 0000-0003-2949-6591

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ**

**2025**

**CAPITULO I:**  
**INTRODUCCION**

---

Bach. Martinez Rodriguez, Ricardo André



Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

62 I. CAPITULO I: INTRODUCCION

1.1. Descripción y Formulación del Problema

Sin lugar a dudas, el concreto estándar es uno de los elementos que se emplea en más abundancia dentro de la industria de la construcción en todo el mundo,<sup>72</sup> ya que tiene una alta versatilidad, bajo costo y facilidad de elaboración. Sin embargo, en su forma tradicional o estándar, presenta ciertas limitaciones inherentes relacionadas con su resistencia a la compresión, durabilidad, trabajabilidad y comportamiento ante la aparición de fisuras. Estas deficiencias pueden reducir la vida útil de las estructuras y comprometer su desempeño estructural, especialmente en zonas costeras como Nuevo Chimbote.

De acuerdo con la OCDE (2024), en su informe Infrastructure for a Climate-Resilient Future,<sup>38</sup> uno de los mayores retos que enfrentan las infraestructuras a nivel mundial es la degradación prematura de estructuras debido a condiciones ambientales como la humedad constante, el ambiente salino, las lluvias intensas o los ciclos de calor y frío, especialmente en zonas costeras o tropicales se subraya la necesidad urgente de incorporar enfoques resilientes y sostenibles en el diseño y mantenimiento de las obras civiles, con énfasis en la selección adecuada de materiales que soporten condiciones adversas. Este diagnóstico cobra especial relevancia para regiones, donde el concreto convencional, sin aditivos ni refuerzos especiales, presenta limitaciones significativas en su resistencia y durabilidad frente al ambiente costero, lo que impacta negativamente en el desarrollo sostenible.<sup>92</sup>

En el año 2020, el INEI proyectó que, en los próximos 30 años, la población total del Perú se incrementará en un 20.7 %. Este crecimiento poblacional incidirá directamente en la demanda de edificaciones, tanto en infraestructura pública como privada, lo que es de gran importancia, ya que estas construcciones son fundamentales para garantizar condiciones

adecuadas de habitabilidad, seguridad y funcionalidad, además de fomentar el desarrollo económico y social del país.

Por ello, la creciente demanda de infraestructura en edificaciones plantea la necesidad de buscar soluciones constructivas sostenibles y eficientes, lo que impulsa la exploración científica y la creación de innovadoras sustancias o compuestos para mejorar y ampliar las posibilidades en el campo de los materiales y técnicas orientadas a mejorar el rendimiento estructural y la durabilidad del concreto estándar.

Considerando lo anterior, la modificación del concreto estándar mediante la adición de MSC y fibra de alcohol polivinílico (PVA) representa una alternativa viable para evaluar tanto la sostenibilidad como el desempeño físico-mecánico de este material en edificaciones ubicadas en las zonas costeras.

La incorporación de estos aditivos no solo busca mejorar las propiedades físcas y mecánicas como son la durabilidad y resistencia a la compresión axial del concreto frente a agentes del medio ambiente, como la humedad constante, sino que también promueve un enfoque más responsable con el entorno, al optimizar el uso de recursos y aumentar la vida útil de las estructuras.

En ese sentido, resulta indispensable analizar experimentalmente las propiedades físico-mecánicas del concreto estándar con la incorporación del microsilice y fibra de alcohol polivinílico, con el fin de garantizar que dichas mezclas cumplan con los requerimientos normativos de calidad, resistencia y trabajabilidad, y que aseguren un desempeño estructural óptimo en edificaciones.

Por lo cual, se plantea el siguiente problema de investigación:

### 1.1.1. *Problema general*

- ¿Cuál es la influencia del microsilice y la fibra de alcohol polivinílico en las propiedades físico – mecánica del concreto estándar en el distrito de Nuevo Chimbote?

### 1.1.2. *Problemas específicos*

- ¿Cuáles son las propiedades del microsilice y la fibra de alcohol polivinílico (PVA)?
- ¿Cuáles son las propiedades de los materiales relacionados al concreto estándar?
- ¿Cuál es la relación agua/cemento (A/C) óptima para lograr un concreto estándar con una resistencia de  $210 \text{ kg/cm}^2$ ?
- ¿Cuáles las propiedades físico – mecánicas del concreto estándar al adicionar microsilice al 5%, 10% y 15% del cemento portland tipo I y de la fibra de alcohol polivinílico al 0.5%, 1.0% y 1.5% del volumen del concreto?
- ¿Cuál es la influencia de la adición óptima del microsilice y de la fibra del alcohol polivinílico?

## 1.2. *Objetivos*

### 1.2.1. *Objetivo general*

- Evaluar la influencia de la fibra de alcohol polivinílico y el microsilice en las propiedades físico – mecánicas del concreto estándar en el distrito de Nuevo Chimbote.

### 1.2.2. *Objetivos específicos*

- Definir las propiedades del microsilice y la Fibra de Alcohol Polivinílico (PVA).
- Determinar las propiedades de los materiales relacionados al concreto estándar.

- Formular la relación A/C para un concreto estándar con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>.
- Determinar las propiedades físico – mecánicas del concreto estándar mediante la adición del microsilice al 5%, 10% y 15% del cemento portland tipo I y de la fibra de alcohol polivinilico al 0.5%, 1.0% y 1.5% del volumen del concreto
- Valorar la influencia de la adición óptima del microsilice y de la fibra del alcohol polivinilico

### **1.3. Formulación de la Hipótesis**

Si se emplea el microsilice al 5%, 10% y 15% del contenido de cemento y la fibra de alcohol polivinilico (PVA) al 0.5%, 1% y 1.5% con respecto al volumen del concreto entonces las propiedades fisico – mecánicas del concreto variarán significativamente.

### **1.4. Justificación e Importancia**

#### **1.4.1. Justificación**

##### **Justificación teórica**

La investigación amplía el conocimiento sobre el uso combinado de microsilice y fibra PVA en el concreto. Busca establecer relaciones claras entre dosificación y mejoras en resistencia, durabilidad y trabajabilidad, aportando bases técnicas para futuras aplicaciones y normativas en ingeniería civil.

##### **Justificación económica**

El uso de microsilice y fibra PVA reduce mantenimientos <sup>85</sup> y prolonga la vida útil de las estructuras, optimizando recursos y generando ahorros significativos a largo plazo. También posibilita diseños más eficientes y rentables.

---

Bach. Martínez Rodríguez, Ricardo André

Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

#### **Justificación metodológica**

Se emplea una metodología experimental con el método ACI 211, evaluando tres <sup>9</sup> niveles de microsilice (5%, 10% y 15% con respecto al peso del cemento) y fibra PVA (0.5%, 1.0% y 1.5% con respecto al volumen al concreto) para identificar la combinación óptima. Esto asegura resultados válidos y un procedimiento replicable en condiciones similares.

#### **1.4.2. Importancia**

La presente investigación permite evaluar el comportamiento físico-mecánico del concreto estándar modificado con microsilice y fibra de alcohol polivinílico (PVA), lo cual puede aportar al desarrollo de concreto más resistentes, duraderos y cumplir los requerimientos técnicos establecidos por normativas como las NTP, ASTM y ACI. Sus resultados pueden ser aplicables en proyectos reales de edificaciones y otros.

---

Bach. Martínez Rodríguez, Ricardo André

Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino



TESIS: "INFLUENCIA DEL MICROSÍLICE Y FIBRA DE ALCOHOL  
POLIVINÍLICO EN LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL  
CONCRETO ESTÁNDAR – NUEVO CHIMBOTE – 2023”

**CAPITULO II:**  
**MARCO TEORICO**

---

Bach. Martinez Rodriguez, Ricardo André



Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

2. 52 CAPITULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. *Antecedentes Internacionales*

En la investigación de Taher et al. (2021), se evaluó el desempeño del concreto autocompactante con microsilice frente a ambientes marinos agresivos, caracterizados por la presencia de cloruros. Se incorporaron porcentajes de microsilice 2 del 5%, 10% y 15% en relación al peso del cemento, el cual nos da un aumento 7 a los 28 días de curado en la resistencia 77 a la compresión, con 10% de MSC alcanzó una resistencia a la compresión de 62.4 MPa, mientras que con 15% se llegó a 63.5 MPa, comparado con 52.6 MPa del concreto sin aditivos. Este aumento se debió a la acción puzolánica del microsilice, que redujo la porosidad e incrementó la formación de gel C-S-H. Además, se evidenció una significativa disminución en 83 la absorción de agua y penetración de cloruros, mejorando así la durabilidad en ambientes salinos costeros.

Así mismo Reveco, J. (2021), en su tesis titulada "Características y estudio de la respuesta de hormigón reforzado con fibras de PVA", con el propósito de alcanzar el grado de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, Mención Ingeniería Estructural, Sísmica y Geotécnica en la Universidad de Chile, consistió en el análisis del comportamiento del hormigón con árido grueso reforzado con fibra de alcohol polivinílico, obteniendo que a mayor sea 88 el tamaño de las partículas se incrementa 45 el contenido de vacíos de aire de la matriz por ende la fibra de alcohol polivinílico trabaja muy bien con matrices de agregados de tamaño fino. Luego de elaborar los especímenes con una relación de agua-cemento de 0.4 y con diferentes tipos de fibra de alcohol polivinílico siendo estas KURALONTM REC 15/12 mm, RECS 100L/12 mm y RF 600/15 mm en un porcentaje del volumen del concreto de 0%, 0.62% y 1.23% se demuestra que los especímenes con diferente contenido de adición de fibra de alcohol

12

polivinilo presentan un ligero aumento en su capacidad de deformación en comparación con el **concreto simple** hasta cierto porcentaje de adición de fibra de alcohol polivinílico ya que al seguir adicionando este material su capacidad de compresión decrece debido a que este material tienden a producir vacíos de aire dentro de la mezcla, sin embargo, la adición de la fibra de alcohol polivinílico a la mezcla aumenta la resistencia residual después del pico de tensión, esto se debe a que la fibra PVA desarrolla puentes entre las grietas reteniendo las microfisuras formadas en dirección transversal de la carga, produciendo lo que el autor denomina como un "pseudo - confinamiento", disminuyendo la tasa de pendiente residual y aumentando su deformación máxima hasta 11 veces. Con respecto a los ensayos realizado de tracción indirecta se demostró que al aumentar la cantidad de fibra de alcohol polivinílico en la mezcla la resistencia a la tracción aumentó aproximadamente hasta un 34%. También concluyó que usando el 1.23 % de PVA, produjo un incremento de hasta 25 % en la resistencia a la flexión respecto al **concreto sin** fibras. Además, se modificó el modo de falla de corte a flexión, mejorando la ductilidad y capacidad posfisuración del elemento. Estos resultados demuestran la eficacia del PVA como refuerzo en elementos estructurales flexionados.

<sup>49</sup> **Tan, Y.; Xu, Z.; Liu, Z.; Jiang, J. (2022).** En el artículo de la revista suiza cuyo tema

denominado: "Effect of silica fume and polyvinyl alcohol fiber on mechanical properties and <sup>1</sup> frost resistance of concrete", publicado en el artículo científico <sup>49</sup> **High-performance Construction Materials: Latest Advances and Prospects**, el cual uno de sus objetivos fue estudiar los efectos del humo silice y el PVA en las propiedades mecánicas del concreto. El alcohol polivinílico es <sup>13</sup> un polímero sintético que tiene una alta resistencia, un módulo elástico elevado y un menor costo en comparación con otros tipos de fibras orgánicas generales utilizadas para el refuerzo del concreto debido a esto tiene una mayor aceptación como una alternativa menos peligrosa y de costos razonables. Teniendo en cuenta esto se utilizó el humo silice en el concreto como sustituyente del cemento en un 5%, 10% y 15% y la fibra de alcohol polivinílico en un 0.5%,

1% y 1.5% del peso total del concreto utilizados en la muestra patrón, demostrando que varía en forma positiva a la **propiedad mecánica que es la resistencia a la compresión** con el sustituyente que es el humo sílice bajo la condición de contenido constante de fibra PVA, se obtuvo el mayor resultado favorable bajo las condiciones de sustitución del cemento por MSC en un 10% y el contenido de fibra PVA en un 1% lo cual obtuvo una variación positiva del 26.6% en comparación con la muestra patrón, esto se debió a la mezcla de las fibras PVA las cuales fueron recubiertas por el material cementante formando un sistema de fuerzas compuestas mejorando así la resistencia a la compresión.<sup>21</sup>

Con respecto a la resistencia a la flexión se demostró que aumenta cuando se sustituye el cemento por el humo de sílice en un 10% y con la adición de un 1% de fibra de alcohol polivinílico alcanzando un aumento del 21.75% en comparación con la muestra patrón, se observó también que al seguir aumentando el porcentaje de adición de fibra alcohol polivinílico por encima del 1% la resistencia a la flexión disminuye esto se debe a que la materia cementante no podía recubrirla como es debido y se aglomeraría dentro del hormigón causando defectos de tensión en su interior dando lugar a una estructura de red interna más suelta.

#### 2.1.2. Antecedentes Nacionales

**Fernández Chuman y Ramos Landauro (2020)** en su tesis cuyo título es: "Influencia de la microsílice sobre la resistencia a la compresión de concretos con relación agua/cemento 0.30; 0.35 y 0.40 Trujillo, 2020", cuya finalidad fue determinar la influencia en las propiedades frescas y sobre todo en la resistencia a la compresión con el microsílice en porcentajes de 5.0%, 7.5% y 10.0% con las relaciones de agua/cementos ya mencionados a edades tempranas, medias y avanzadas.

Para cumplir este propósito se utilizó microsílice Sika Fume y Superplastificante Sika Viscoflow 4000, de manera tal que al estudiar el comportamiento de dichos materiales con las

23 diferentes relaciones de agua/cemento, se pudieran mejorar las propiedades mecánicas y físicas de las mezclas; con la implementación de estos aditivos, modificando la resistencia en los diferentes tiempos de investigación, concluyendo que teniendo 0.30 de relación de agua/cemento, es evidente que la investigación realizada ha identificado que el 10.0% de microsílice proporciona mejoras significativas <sup>1</sup> en la resistencia a la compresión en diferentes edades de curados siendo estas las siguientes: Como se sabe la edad temprana es a los 7 días del cual se obtuvieron una ganancia de resistencia del 12.06%, a una edad de curado de 28 días se obtuvo una ganancia de 14.22% y al tiempo de curado avanzado de 63 días se dio una variación positiva de 7.52% de la resistencia a la compresión en comparación con el concreto <sup>7</sup> sin microsílice. Estas mejoras indican que la microsílice tiene un efecto positivo en el desarrollo <sup>5</sup> de la resistencia del concreto a medida que pasa el tiempo. Es importante destacar que estas ganancias en resistencia pueden tener un impacto significativo en la durabilidad y desempeño general del concreto en aplicaciones estructurales y de ingeniería. Al aumentar la resistencia del concreto, se pueden lograr estructuras más seguras y duraderas, lo que es especialmente valioso en proyectos de construcción que requieran altos estándares de calidad y longevidad.

Es alentador ver que la investigación y la optimización de los materiales continúan contribuyendo al desarrollo de concretos de alto desempeño, lo que lleva a avances en <sup>70</sup> la industria de la construcción y a la creación de infraestructuras más sólidas y confiables.

<sup>11</sup> En la tesis "Influencia de la microsílice en la resistencia a compresión del concreto f<sub>c</sub> = 210 kg/cm<sup>2</sup> y f<sub>c</sub> = 280 kg/cm<sup>2</sup> en la ciudad del Cusco", Checya Mamani y Palomino Quispe (2021) evaluaron dosificaciones de microsílice del 5%, 10% y 15%. En concreto de 210 kg/cm<sup>2</sup>, el 10% de adición elevó la resistencia de 211.47 a 247.61 kg/cm<sup>2</sup>, representando un incremento del 17.1%, mientras que en concreto de 280 kg/cm<sup>2</sup> el aumento fue del 15.6%. Además, se evidenció una disminución en la absorción capilar, mejorando la durabilidad del concreto frente

a condiciones climáticas altoandinas. El estudio concluye que la microsílice aporta beneficios técnicos relevantes en regiones con baja temperatura y alta humedad.

Mientras que **Coronado Uriarte (2023)**, en su tesis titulada “[Evaluación de las propiedades fisico-mecánicas de pavimentos rígidos fibroreforzados con acero, incorporando microsílice y policarboxilato](#)”, ensayó vigas prismáticas tipo pavimento rígido con fibras de acero ( $20-40 \text{ kg/m}^3$ ) y diferentes dosis de microsílice (8 %, 10 %, 12 %). El diseño incluyó la resistencia a la flexión además de los ensayos de compresión. Se encontró que las dosificaciones de 10 % de microsílice y  $30 \text{ kg/m}^3$  de fibra de acero aumentaron significativamente tanto la resistencia a compresión como la resistencia a la flexión, evidenciando mejoras estructurales del orden del 20 % o más frente a la mezcla patrón (sin aditivos)

En la investigación “[Influencia de la microsílice sobre la resistencia a compresión y permeabilidad en concreto de cemento MS, según norma EN12390-8](#)”, **Merino Flores y Montenegro (2023)** analizaron concretos con 5%, 10% y 15% de microsílice. La mezcla con 5% presentó incrementos de resistencia superiores al 18%, mientras que la de 10% redujo la permeabilidad hasta en un 35%. Estas propiedades fueron determinadas bajo la norma europea EN 12390-8. La investigación concluye que la microsílice mejora de manera integral el desempeño mecánico y la durabilidad, posicionándose como una alternativa viable para estructuras en zonas salinas.

#### **2.1.3. Antecedentes Locales**

En la tesis “[Evaluación del pavimento rígido al incorporar microsílice para incrementar la resistencia por compresión del concreto en la Av. Florida](#)”, **Zorrilla Pantoja (2020)** desarrolló una investigación aplicada en la ciudad de Chimbote, donde evaluó el comportamiento mecánico del concreto tipo V utilizado en pavimentos rígidos al incorporar

microsilice como adición parcial del cemento. Se trabajaron tres porcentajes de microsilice: 6 %, 8 % y 9 %, comparándolos con una mezcla patrón sin aditivos. <sup>29</sup> Se obtuvo una resistencia a la compresión a los 28 días de curado de 341.78 kg/cm<sup>2</sup> (6 %), 346.36 kg/cm<sup>2</sup> (8 %) y 727.65 kg/cm<sup>2</sup> (9 %), frente a los 413.63 kg/cm<sup>2</sup> de la mezcla convencional. Estos resultados evidencian que la dosificación del 9 % generó un incremento del 76 % en la resistencia a diferencia del concreto patrón (Sin aditivos), atribuible a la alta reactividad puzolánica de la microsilice y su efecto densificante en la matriz cementicia. El estudio concluye que el uso controlado de microsilice mejora sustancialmente la resistencia del concreto en condiciones costeras, siendo viable para obras que demandan alta durabilidad y resistencia estructural.

## 2.2. Base teórica

### 2.2.1 Microsilice

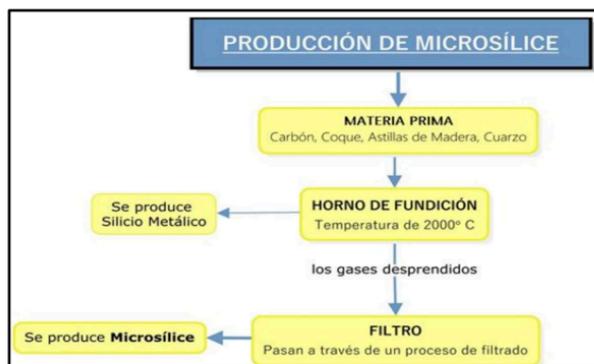
**2.2.1.1. Descripción.** El uso de adiciones minerales en la elaboración de concreto no es una práctica moderna; de hecho, tiene antecedentes históricos que datan de miles de años atrás. En este contexto, la incorporación de microsilice se ha consolidado como una opción altamente eficaz, gracias a los notables beneficios que ofrece tanto en el estado fresco como en el endurecido del concreto. (Portugal Barriga, Perú, 2007)

La microsilice es un aditivo con alta reactividad que se utiliza en cantidades reducidas para mejorar significativamente las propiedades del concreto. <sup>22</sup> En la Figura 1 se muestra un esquema del proceso de producción de este material. Los compuestos que contienen silicio se emplean en múltiples industrias, como la fabricación de acero, aluminio, componentes electrónicos, como chips de computadora, y la elaboración de siliconas, utilizadas comúnmente en lubricantes y selladores.

Aunque estos productos son altamente valiosos, el subproducto generado resulta ser de gran relevancia para el sector de la construcción con concreto, debido a sus notables beneficios en el rendimiento del material. (Holland, T. C., 2005, p. 5)

La Asociación de Microsílice (SFA) indica que este material también se conoce comercialmente como humo de sílice, sílice volatilizada o humo de sílice condensado, nombres que hacen referencia al método de producción utilizado. En el pasado, las fundiciones liberaban los gases residuales al ambiente sin ningún tipo de control. Sin embargo, hoy en día estos gases se capturan mediante filtros tipo bolsa, conocidos en inglés como “baghouse filters”, lo que permite recolectar la microsílice para su uso como aditivo <sup>10</sup> en el concreto, como se muestra en la **Figura 2** Según el Comité Europeo de Microsílice, el proceso de producción actual sigue los principios de sostenibilidad: reducir, reutilizar, reparar y optimizar el uso de recursos, en concordancia con normas internacionales como la EN 13263, partes 1 y 2, y la ASTM C1240. Gracias a estos estándares, la industria garantiza productos de alta calidad con mínimo impacto ambiental y una distribución global confiable.

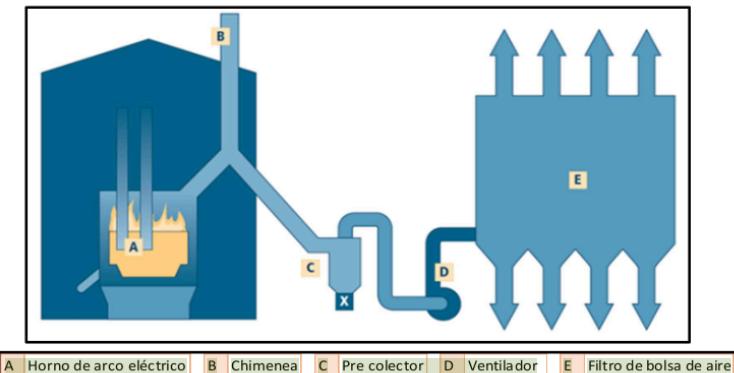
**Figura 1.**  
*Esquema de la producción de microsílice*



*Nota.* Holland, T. C., 2005, p. 5

**Figura 2.**

*Esquema del proceso de recolección de microsílice*



**Nota.** Holland, T. C., 2005, p. 6

Según la Silica fume user's manual (SFA), la microsílice se ofrece comercialmente en tres presentaciones: no densificada, en suspensión y densificada.

- La versión no densificada se emplea principalmente en productos previamente mezclados como morteros de reparación y grouts envasados, pero no suele aplicarse en concretos premezclados o prefabricados.
- La microsílice en suspensión no está disponible en el mercado estadounidense.
- En cambio, la microsílice densificada es la presentación más comúnmente utilizada en mezclas de concreto.

<sup>22</sup>  
Este tipo densificado se obtiene a partir de la microsílice sin densificar, mediante un procedimiento mecánico que modifica la carga superficial de las partículas, facilitando su aglomeración. Este proceso permite reducir su volumen, disminuyendo así los costos de

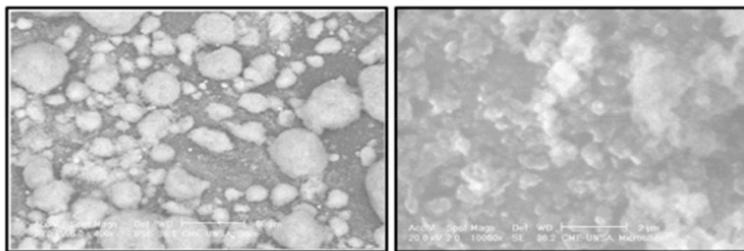
transporte. Como resultado, puede ser almacenada y distribuida en sacos de 10 y 25 kilos, de forma similar a otros materiales cementicios. (**Holland, T. C., 2005, p. 5**)

En su estado fresco, la microsílice mejora la cohesión de la mezcla, reduce la segregación y aumenta la retención de agua, lo que facilita la colocación y el acabado, así como el bombeo del concreto, especialmente en aplicaciones exigentes. En su estado endurecido, contribuye a una matriz cementicia más densa al reaccionar con la cal libre ( $\text{Ca(OH)}_2$ ), lo que se traduce en mayor resistencia mecánica, mejor durabilidad frente a agentes agresivos (como cloruros y sulfatos) y una disminución significativa de la permeabilidad. (**Portugal Barriga, Perú, 2007**)

Estas propiedades hacen que la microsílice sea una de las adiciones más recomendadas para proyectos que demandan alto desempeño estructural, larga vida útil y resistencia en ambientes agresivos, como puentes, túneles, estructuras marinas o pavimentos industriales.

(**Portugal Barriga, Perú, 2007**)

**Figura 3.**  
Partículas de microsilice (estado húmedo) e imagen en aumento de 10000x



**Nota.** Tecnología de concreto, Pablo Portugal, 2007

#### 2.2.1.2. Propiedades físicas generales.

De las cuales tenemos las siguientes:

- Densidad: La densidad de la MSC depende de su composición y puede variar entre marcas. Un contenido más alto de carbono reduce su densidad. En promedio, se sitúa alrededor de los 2.2 g/cm<sup>3</sup>.

– Color: El color de la microsílice está influenciado por sus componentes no silíceos, como el carbono y los óxidos de hierro, ya que el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) en sí no le proporciona tonalidad. Por ello, su apariencia suele variar de gris a tonos más oscuros. Al integrarse con la mezcla de cemento, se produce una suspensión o lechada de tonalidad oscura, específicamente negra, que modifica el aspecto de la pasta.

– Peso unitario: Oscila entre 130 y 430  $\text{kg/m}^3$ , siendo 300  $\text{kg/m}^3$  un valor típico ampliamente aceptado en aplicaciones.

– Superficie específica: Debido a su estructura extremadamente fina, la microsílice posee una superficie específica muy elevada. Al estar compuesta mayoritariamente de dióxido de silicio amorfo, presenta un excelente comportamiento puzolánico, razón por la cual también se le conoce como una “super puzolana”. (Portugal Barriga, Perú, 2007)

#### **2.2.1.3. Propiedades químicas generales.** De las cuales tenemos las siguientes:

– Composición química: El principal componente del microsílice es el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ), que representa entre el 90% y el 96% de su composición total. En la mayoría de los casos, los humos de sílice contienen más del 90% de  $\text{SiO}_2$ . Esta composición suele ser bastante estable, aunque puede variar ligeramente dependiendo del tipo de aleación metálica a partir de la cual se genera el microsílice como subproducto.

**Tabla 1.**

*Rango de proporciones químicas presentes en la microsílice.*

Oxido	%
$\text{SiO}_2$	90.0 – 93.0
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0.5 – 0.6
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3.4 – 4.5

MgO	0.3 – 0.5
CaO	0.5 – 0.8
Na <sub>2</sub> O	0.1 – 0.3
K <sub>2</sub> O	1.0 – 1.2
C	1.3 – 3.6
S	0.1 – 0.2
C + S	1.4 – 3.8
SO	0.4 – 1.3
H <sub>2</sub> O	0.0 – 4.8

*Nota.* Tecnología de concreto, Pablo Portugal, 2007

- Cloruros: Las normativas europeas establecen límites específicos para el contenido de cloruros en la microsilice, los cuales oscilan entre 0.1% y 0.3% en masa. Según estos parámetros, es posible determinar las dosis adecuadas en relación con el contenido de cemento, considerando un aporte de cloruros solubles en ácido de hasta 0.20% del peso de la microsilice.
- pH: Generalmente, el pH de la microsilice está determinado y puede medirse experimentalmente. Por ejemplo, al mezclar 20 gramos de microsilice con 80 gramos de agua, es posible observar y analizar su comportamiento alcalino.
- Cristalinidad: Estudios realizados mediante difracción de rayos X han confirmado que la microsilice posee una estructura amorfa, lo que la diferencia de los materiales cristalinos.

(Portugal Barriga, 2007)

2.2.1.4. Propiedades del concreto en su estado fresco por el microsilice. Las cuales

son las siguientes:

– Trabajabilidad: La incorporación de microsilice, por su alta finura, incrementa el área superficial dentro de la mezcla de concreto, lo que puede dificultar su manejabilidad. Para contrarrestar este efecto, es recomendable aumentar el asentamiento de la mezcla, mejorando así su fluidez. No obstante, la forma esférica de las partículas de microsilice actúa como un lubricante natural, permitiendo un mayor deslizamiento dentro de la pasta y facilitando su movimiento. (Flores Álvarez & Blas Castro, 2014)

– Cohesividad: El uso de microsilice en el concreto incrementa notablemente su cohesión, reduciendo el riesgo de segregación y evitando la exudación. Para maximizar estos beneficios, es fundamental realizar un adecuado proceso de curado tras el vertido del concreto.

(Flores Álvarez & Blas Castro, 2014)

– Fraguado y endurecimiento: La presencia de microsilice acelera el proceso de endurecimiento (fraguado) del concreto estándar ya que se origina la interacción química con el hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ). Esta reacción forma <sup>51</sup> silicatos de calcio hidratados (C-S-H), que aumentan el volumen de los productos de hidratación. Como resultado, se mejora la resistencia mecánica del concreto y se incrementa su impermeabilidad. (Mejía Mestanza & Quispe Reyes, 2022)

– Calor de hidratación: Agregándose MSC al concreto se forma un elemento que en su particularidad es sensibles a los cambios de temperatura en todo el proceso del endurecimiento. Esto se debe a que, al reducirse la cantidad de cemento, también disminuye el calor liberado por la hidratación. Sin embargo, al incorporarse la MSC, esta <sup>1</sup> reacciona con el hidróxido de calcio generado por el cemento, produciendo calor adicional y compensando parcialmente esa disminución. (García, 2018)

**57 2.2.1.5. Propiedades del concreto en su estado endurecido por el microsilice**

– Resistencia a la compresión: La inclusión del microsilice dentro de la mezcla de concreto ayuda a la variación positiva significativa en su resistencia a la compresión. Este beneficio tiene como causa varios factores como el tipo de cemento utilizado, la proporción de aditivo incorporado, la disminución del contenido de agua, las propiedades de los agregados y el método de curado. En Perú, se han alcanzado resistencias de hasta 120 MPa, lo que evidencia su efectividad en mezclas bien diseñadas. (García, 2018)

– Fragilidad y módulo de Young: La variación positiva significativamente en la resistencia mecánica del concreto con microsilice también está acompañado por una mayor fragilidad, lo que es común en materiales de alta resistencia. No obstante, esta característica no compromete la estabilidad estructural. El módulo de Young, también llamado módulo de elasticidad, crece proporcionalmente con la resistencia a compresión, permitiendo que el material soporte mayores cargas antes de fallar bajo compresión uniaxial. (López, 2010)

– Adherencia: Gracias a la textura extremadamente fina del microsilice, el concreto fresco logra una excelente adherencia con otros materiales, como acero de refuerzo, concreto previamente colado, fibras y agregados, mejorando la cohesión general del sistema. (García, 2018)

– Contracción: El concreto que contiene microsilice experimenta una contracción más lenta y de menor magnitud comparado con el concreto tradicional. Esta característica se debe a una tasa de secado más controlada, lo que puede observarse claramente mediante ensayos comparativos normalizados. (López, 2010)

## 2.2.2 *Fibra de Alcohol Polivinílico*

### 2.2.2.1. Descripción

Sakurada (1985) explica que la fibra de alcohol polivinílico (PVA) es un polímero sintético soluble en agua, caracterizado por su estructura altamente polar que permite la formación de enlaces de hidrógeno tanto intra como intermoleculares.<sup>53</sup> Estas propiedades le confieren una notable resistencia mecánica y estabilidad térmica. Además, su capacidad para formar películas y su compatibilidad con otros polímeros la hacen útil en diversas aplicaciones industriales. Su naturaleza hidrosoluble facilita su procesamiento y reciclaje, contribuyendo a su sostenibilidad ambiental.<sup>24</sup>

En el contexto peruano, una tesis evaluó el uso de PVA como agente de autocurado en concreto con una resistencia de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$ . Castro Guinochio (2022) comparó este método con el curado tradicional por inmersión y el uso de aditivos formadores de membrana. Los resultados indicaron que una dosificación del 0.48% de PVA respecto al peso del cemento logró el 98.8% de la resistencia a la compresión de diseño a los 28 días, en comparación con el 100.7% alcanzado mediante el uso de aditivos curadores. Esto sugiere que el PVA puede ser una opción viable para poder ayudar positivamente en el curado del concreto, especialmente en situaciones donde el curado tradicional es difícil de implementar.<sup>14</sup>

Deng, Xue y Li (2015) encontraron que la adición de un 0.1% de fibras PVA aumentó significativamente la tenacidad a la flexión del concreto  $I_s$  e  $I_{10}$  en 3.73 y 6.23 veces, respectivamente, en comparación con el concreto sin fibras. Además, el modo de falla del concreto cambió de una fractura frágil a una fractura dúctil, indicando una mejora significativa en la capacidad de deformación del material.

#### 2.2.2.2. Propiedades físicas generales

- <sup>56</sup> Resistencia a la tracción: La fibra de alcohol polivinílico presenta una alta resistencia

a la tracción, que puede alcanzar entre 1.2 y 1.6 GPa, lo que la hace comparable con otras fibras sintéticas de alto rendimiento. Esta propiedad es clave para su uso en concreto reforzado, ya que contribuye a la mejora de la resistencia post-agrietamiento. (Sakurada, 1985, p. 212)

- <sup>1</sup> Módulo de elasticidad: El módulo de elasticidad de la fibra PVA se encuentra dentro del rango de 30 y 40 GPa, dependiendo de su grado de polimerización y del tratamiento térmico. Esta rigidez le permite colaborar en el control de deformaciones en el concreto endurecido. (Kobayashi & Ochi, 2006, p. 88)

– Absorción de agua: Las fibras de PVA son altamente hidrofilicas, con una absorción de agua de hasta el 5% en peso, lo que favorece la adherencia con la matriz cementicia y mejora el comportamiento en estado endurecido. (Tamaki et al., 2001, p. 45)

– <sup>24</sup> Punto de fusión y estabilidad térmica: El punto de fusión de la fibra de PVA está alrededor de 230 °C, y presenta una buena estabilidad térmica en aplicaciones de concreto, lo que permite su uso en climas diversos sin comprometer su rendimiento estructural. (Zhou &

Wang, 2014, p. 93)

#### 2.2.2.3. Propiedades químicas

– *Solubilidad en agua*: El PVA es un polímero sintético altamente hidrosoluble debido a su estructura con grupos hidroxilo (-OH) que le permiten formar enlaces de hidrógeno con <sup>61</sup> moléculas de agua. Esta propiedad química es fundamental para su uso en aplicaciones donde se requiere biodegradabilidad y dispersión en medios acuosos. (Sakurada, 1985, p. 45)

– *Formación de enlaces de hidrógeno*: Gracias a su estructura con unidades repetidas de vinil alcohol, el PVA puede establecer enlaces de hidrógeno intra e intermoleculares, lo que

mejora su cohesión interna y su interacción con matrices como la del concreto. (Chiellini et al., 2001, p. 213)

– *Resistencia química:* El PVA <sup>69</sup> es resistente a la mayoría de los disolventes orgánicos y a aceites, pero se degrada en medios altamente alcalinos o ácidos concentrados, lo cual es importante considerar en su compatibilidad química con cementos o suelos agresivos. (George & Kurian, 2014, p. 104)

– *Reactividad con álcalis:* En ambientes muy alcalinos, como los que se encuentran dentro del concreto fresco, el PVA puede sufrir una ligera degradación oxidativa, aunque su formulación industrial ha sido adaptada para mejorar su estabilidad en estos entornos. (Tamaki et al., 2001, p. 47)

### 2.2.3 Concreto Estándar

<sup>1</sup> **2.2.3.1. Definición** El concreto convencional **es** un **material** compuesto, **constituido** principalmente **por la combinación de cemento** Portland con áridos finos (arena), <sup>48</sup> agregados gruesos (grava o piedra triturada) y agua. Tras mezclarse, esta combinación pasa por un proceso de fraguado y endurecimiento que le permite alcanzar una resistencia considerable. Su principal propiedad es la capacidad de ser moldeado en estado fresco y alcanzar propiedades estructurales una vez endurecido. Además, es un material versátil, económico, y durable, utilizado en obras de infraestructura, vivienda, pavimentación y elementos estructurales. El control de <sup>40</sup> la relación agua/cemento y el proceso de curado repercute **de** forma directa en **la** capacidad resistente del material final. (Neville, 2012, p. 2)

**2.2.3.2. Componentes del concreto.** El concreto es una mezcla de materiales sólidos e inertes (agregados) con una pasta de cemento y agua, que al fraguar <sup>1</sup> se convierte en una masa dura y resistente. Su popularidad se estándar debe a su capacidad de adaptarse a diferentes formas, su resistencia a compresión, su durabilidad y su economía. Se utiliza tanto en estructuras simples como en grandes obras de ingeniería. La proporción adecuada de sus <sup>76</sup> elementos, la granulometría de los agregados, el tipo de cemento, y el curado son factores fundamentales para lograr un concreto durable y resistente. Su comportamiento puede mejorarse mediante el uso de aditivos y técnicas de mezclado avanzadas. (Mindess, Young, & Darwin, 2003, p. 1)

a. **Cemento Portland.** El cemento Portland es una mezcla finamente molida <sup>2</sup> de clínker (compuesto de silicatos de calcio) y una pequeña cantidad de yeso, obtenida por la calcinación de caliza y materiales arcillosos a temperaturas superiores a los 1400°C." (Mindess, Young, & Darwin, 2003, p. 43)

El cemento Portland es el principal aglomerante aplicado en la edificación contemporánea, donde se aprovecha en la elaboración de concretos y morteros debido a su propiedad de reaccionar con el agua, lo que le permite fraguar y alcanzar una elevada dureza, otorgando resistencia y durabilidad a las estructuras. (Kosmatka, Kerkhoff, & Panarese, 2002, p. 10)

Joseph Aspdin en 1824 fue el desarrollador del cemento Portland. Su nombre proviene del parecido entre la piedra caliza de la isla de Portland y el material endurecido, en Inglaterra. (Gambhir, 2004, p. 17)

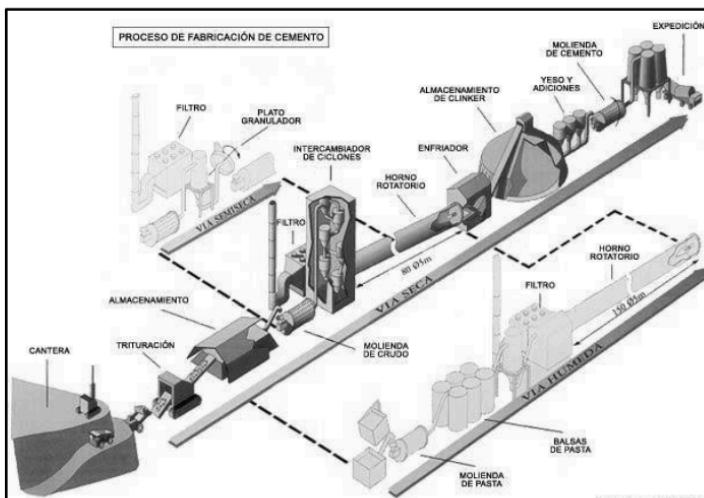
La fabricación del cemento Portland implica la trituración y molienda <sup>10</sup> de materias primas como la caliza y la arcilla, seguidas por la calcinación a altas temperaturas para formar clínker, que luego se muele finamente para obtener el cemento. (Taylor, 1997, p. 45)

1 El proceso de producción de cemento Portland consta de varias etapas: extracción de materias primas, mezcla, calentamiento en horno rotatorio a aproximadamente 1450 °C, y posterior enfriamiento y molienda para obtener el producto final. (Neville, 2012, p. 123)

El horno rotatorio es el componente principal en la fabricación de cemento Portland, donde la mezcla cruda sufre transformaciones químicas para formar el clíker, que es el intermediario clave en el proceso. (Mindess, Young, & Darwin, 2003, p. 77)

La supervisión y verificación de la calidad durante el proceso de elaboración del cemento Portland resulta fundamental para garantizar que sus características tanto hidráulicas como mecánicas se mantengan dentro de los parámetros exigidos y respondan adecuadamente a los estándares establecidos por la normativa internacional vigente. (Taylor, 1990, p. 89)

**Figura 4.**  
*Proceso de fabricación del cemento*



*Nota.* Betancourt, J. (2012), valuación de los tipos tecnológicos de arcillas del

**b. Tipos de Cemento Portland.** El **Tipo I** es un cemento de propósito general, recomendado para pavimentos, edificios, puentes y otras estructuras donde no hay exposición severa a sulfatos. (Mehta & Monteiro, 2014, p. 87). El cemento Portland Tipo I se usa en construcciones normales, sin requerimientos especiales de resistencia al ataque químico o a temperaturas elevadas. (Ortega, 2006, p. 132). El **Tipo II** es recomendado cuando las condiciones del ambiente exigen cierta resistencia al ataque de los sulfatos, pero no tan elevada como la que se requiere para el cemento Tipo V. Este tipo de cemento también ayuda a la <sup>23</sup> reducción del calor de hidratación, haciéndolo ideal para estructuras de gran volumen. Ofrece una solución intermedia entre desempeño y economía. (Mehta & Monteiro, 2014, p. 88). El cemento Portland **Tipo III** ofrece beneficios notables en aplicaciones donde se necesita una alta resistencia temprana, como en construcción rápida o prefabricados. Este tipo de cemento permite una desmoldación rápida, reduciendo los tiempos de espera. Además, puede ser beneficioso en zonas frías para evitar daños por congelamiento. Su uso contribuye a acelerar procesos constructivos sin comprometer la resistencia final. (Mehta & Monteiro, 2014, p. 89). El cemento Portland **Tipo IV** se distingue por su baja generación de calor durante la hidratación, lo cual es deseable en obras de grandes dimensiones. Su composición química está ajustada para disminuir el contenido de C<sub>3</sub>S y C<sub>3</sub>A, componentes responsables del calor liberado. Esta característica prolonga el tiempo de fraguado, permitiendo controlar mejor las reacciones térmicas. Es utilizado principalmente en represas, bloques de fundación y grandes masas de concreto. (Mehta & Monteiro, 2014, p. 90). El **Tipo V** es el cemento con mayor <sup>1</sup> resistencia al ataque por sulfatos. Su uso es crítico en cimentaciones, alcantarillado, canales o pilotes ubicados en zonas con aguas agresivas. La resistencia química que ofrece permite reducir <sup>12</sup> los costos de mantenimiento y alarga la vida útil de las estructuras. No es recomendable para obras que no están expuestas a condiciones agresivas, debido a su costo mayor y menor velocidad de fraguado inicial. (Ortega, 2006, p. 138). El cemento Tipo MS está formulado

para proporcionar una resistencia moderada al ataque de sulfatos, ideal para construcciones donde los niveles de sulfatos en el suelo o agua no son extremos, pero tampoco insignificantes. Es una alternativa segura y económica en comparación con el Tipo V, cuando se conoce que el ambiente tiene una agresividad química moderada. Su uso previene deterioros prematuros y extiende la vida útil de las estructuras. (ACI Committee 225, 2016, p. 6)

c. **Agregado.** Los agregados, aunque no participan en reacciones químicas, son elementos fundamentales del concreto, ya que se combinan con la pasta de cemento para conformar una estructura sólida. Constituyen cerca del <sup>1</sup>75% del volumen total del concreto, <sup>2</sup>razón por la cual su calidad influye de manera decisiva en el rendimiento del producto final.

(Pasquel Carbajal, 1998, p. 69)

Aunque comúnmente se les llama "inerte", esta clasificación es relativa, ya que, a pesar <sup>86</sup>de no participar de manera directa en los procesos <sup>2</sup>de reacción química <sup>que se</sup> producen entre el agua y el cemento <sup>para</sup> formar la pasta cementicia, las características <sup>de</sup> los agregados ejercen una influencia significativa sobre el desempeño y la respuesta estructural del concreto. En ciertas situaciones, su impacto puede ser tan relevante como el del propio cemento, especialmente al determinar aspectos como la resistencia, la durabilidad o la conductividad del material. Por lo general, los agregados están formados <sup>1</sup>por partículas minerales como el <sup>42</sup>granito, el basalto, el cuarzo o una combinación <sup>de</sup> estos. Sus características físicas y químicas inciden en prácticamente todas las propiedades del concreto. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 69)

Asimismo, la distribución de los tamaños de las partículas en la mezcla desempeña un rol fundamental para obtener un concreto con buena eficiencia estructural y adecuada facilidad de manejo. Se ha demostrado científicamente que, al combinar partículas de distintos tamaños, donde las más pequeñas ocupan los espacios entre las más grandes, se logra una mezcla más

compacta, cohesionada por la pasta de cemento que cumple la función de aglutinante. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 69)

– **Agregado fino.** Según lo establecido en la Norma Técnica Peruana NTP 400.037, el agregado fino es aquel material que resulta de la desintegración, ya sea natural o provocada, de las rocas. Este material debe ser capaz de atravesar una malla de  $\frac{3}{8}$ " (9.51 mm) y permanecer retenido en la malla N° 200 (0.074 mm). Además, debe cumplir con los requisitos y límites especificados por dicha norma. (NTP. 400.037, 2018, p. 6)

En lo que sigue, se exponen y describen los atributos más relevantes que definen al agregado fino:

#### Granulometría

Por lo tanto el agregado fino debe presentar una gradación que permanezca conforme a los límites y parámetros previamente determinados por la normativa por la NTP 400.037. Para lograr una granulometría adecuada, se sugiere considerar las siguientes recomendaciones:

– Se prefiere que la distribución granulométrica sea continua, con material retenido en los tamices números del 4, 8, 16, 30, 50 y 100, pertenecientes a la serie de Tyler. (Rivva López, 1992, p. 19)

– No se admite que una fracción superior al 45% del material permanezca acumulada o retenida de manera simultánea en dos tamices consecutivos, sin importar cuáles sean estos dentro del proceso de tamizado. (Rivva López, 1992, p. 19)

– De manera global, se recomienda que la distribución granulométrica del material conserve sus valores dentro de los rangos o parámetros indicados como referencia en la **Tabla 2:**

**Tabla 2.**  
*Requisitos Granulométricos del Agregado Fino*

Malla		% Que Pasa
3/8"	---	100
N° 4	---	95 - 100
N° 8	---	80 - 100
N° 16	---	50 - 85
N° 30	---	25 - 60
N° 50	---	10 - 30
N° 100	---	2 - 10

*Nota.* Diseño de Mezclas, Rivva; 1992, p. 19

47 Los valores porcentuales establecidos para el material que atraviesa las mallas N° 50 y N° 100 pueden reducirse hasta un 5% y 0%, respectivamente, siempre y cuando el agregado se destine a la producción de concretos con incorporación de aire y cuyo contenido de cemento sea mayor a 225 kg/m<sup>3</sup>. En el caso de concretos que no presentan aire incorporado, esta disminución también resulta aceptable si la cantidad de cemento utilizada excede los 300 kg/m<sup>3</sup>, o bien, cuando se adiciona un material cementante suplementario o aditivo mineral que compense adecuadamente la carencia del material retenido en dichas mallas. (Rivva López, 1992, p. 19)

El índice o módulo de fineza correspondiente al agregado fino deberá conservarse dentro de una variación máxima de  $\pm 0.2$  con relación al valor tomado como referencia en el momento de definir las proporciones de la mezcla de concreto. Se recomienda, además, que dicho parámetro se ubique preferentemente dentro del intervalo comprendido entre 2.35 y 3.15, 12 a fin de garantizar una adecuada granulometría y un desempeño óptimo del material en el proceso constructivo. (Rivva López, 1992, p. 19)

– <sup>54</sup> **Aggregado grueso.** Según la Norma Técnica Peruana NTP 400.037, el agregado grueso es el material que se obtiene a partir de la desintegración, ya sea natural o mecánica, de rocas, y corresponde al que queda retenido en el tamiz N° 4 (4,75 mm). Este tipo de agregado debe cumplir con los parámetros especificados en dicha norma. (NTP 400.037, 2018, p.6)

El árido grueso utilizado en la producción de concretos livianos puede proceder tanto de fuentes naturales como de procesos de fabricación artificial. <sup>45</sup> Este tipo de material está constituido por partículas de grava, ya sea en su estado natural o producto de la trituración mecánica, fragmentos de roca de diferentes tamaños, así como también por elementos de origen metálico, que pueden encontrarse en forma natural o ser obtenidos mediante procesos industriales de manufactura. (Rivva López, 1992, p.21)

Está constituido por partículas exentas de impurezas, con una morfología que, de manera preferente, presenta formas angulares o semiangular. Dichas partículas se caracterizan por ser densas, de alta compacidad, con una notable resistencia mecánica y, en lo posible, con una superficie de textura áspera o rugosa que favorece una mejor adherencia dentro de la mezcla. (Rivva López, 1992, p.21)

A continuación, se presentan las <sup>1</sup> características principales del agregado fino:

#### Granulometría

La granulometría del agregado grueso <sup>59</sup> debe cumplir con los rangos establecidos en las normativas ASTM C 33 o NTP 400.037, y debe mantener una distribución continua para garantizar una adecuada trabajabilidad al momento de colocar la mezcla y lograr la máxima <sup>15</sup> densidad del concreto, como se observa en la **Tabla 3**:

**Tabla 3.**  
Requisitos granulométricos del agregado grueso

Huso	Tamaño Nominal	% Que pasa por los tamices normalizados												
		100 mm (4")	90 mm (3.5")	75 mm (3")	63 mm (2.5")	50 mm (2")	37.5 mm (1.5")	25 mm (1")	19 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	4.75 mm (1/4")	2.36 mm (Nº8)	1.18 mm (Nº16)
1	90 a 37.5 mm (3 1/2" a 1 1/2")	100	90 a 100	60	25 a	0 a	15	0 a	5	0 a	–	–	–	–
2	63 a 37.5 mm (2 1/2" a 1 1/2")	–	–	100	100	35 a	0 a	–	0 a	–	–	–	–	–
3	50 a 25 mm (2" a 1")	–	–	–	–	100	90 a	70	15	5	–	–	–	–
357	50 a 25 mm (2" a N°4)	–	–	–	–	100	95 a	100	35 a	0 a 15	–	0 a 5	–	–
4	37.5 a 19 mm (1 1/2" a 3/4")	–	–	–	–	100	90 a 100	20 a	70	30	–	0 a 5	–	–
467	37.5 a 47.5 mm (1 1/2" a N°4)	–	–	–	–	100	95 a 100	–	35 a	70	–	10 a	–	–
5	25 a 12.5 mm (1" a 1/2")	–	–	–	–	–	–	100	90 a	20 a	0 a 10	0 a 5	–	–
56	25 a 9.5 mm (1" a 3/8")	–	–	–	–	–	–	100	90 a	55	0 a 15	–	0 a 5	–
57	25 a 4.75 mm (1" a N°4)	–	–	–	–	–	–	100	95 a	–	30	0 a 5	–	–
6	19 a 9.5 mm (5/8" a 3/8")	–	–	–	–	–	–	–	100	90 a	60	–	–	–
67	19 a 4.75 mm (3/8" a N°4)	–	–	–	–	–	–	–	100	90 a	55	0 a 15	0 a 5	–
7	12.5 a 4.75 mm (1/2" a N°4)	–	–	–	–	–	–	–	100	90 a	40 a	–	–	–
8	9.5 a 2.36 mm (3/8" a N°8)	–	–	–	–	–	–	–	100	90 a	60	0 a 10	0 a 5	–
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	–	–	–	–	–	–	–	100	90 a	100	0 a 10	0 a 5	–
9A	4.75 mm a 1.18 mm (N°4 a N°16)	–	–	–	–	–	–	–	–	100	55	100	0 a 10	0 a 5

Nota. NTP 400.037/2018, p. 13

Bach. Martínez Rodríguez, Ricardo André

44

Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

La distribución granulométrica adoptada no deberá presentar un porcentaje superior al 46 5% de partículas de agregado que queden retenidas en el tamiz de 1 1/2 pulgadas, ni exceder 91 el 6% de material que logre atravesar el tamiz de 1/4 de pulgada, a fin de asegurar una adecuada uniformidad en la composición del material.

– Tamaño Máximo Nominal: Es el tamiz con la abertura más pequeña en el que se retiene por primera vez parte del material, y se utiliza como referencia para identificar la granulometría del agregado analizado y no debe ser mayor a:

- a) Equivalente a la quinta parte de la menor medida existente entre las dimensiones de las caras del encofrado; o
- b) Corresponde a la tercera parte de la altura o espesor total de las losas; o
- c) Equivalente a las tres cuartas partes de la separación mínima disponible entre barras o alambres de refuerzo colocados de manera individual, conjuntos de barras agrupadas, torones, o bien los conductos destinados al preesfuerzo. (Rivva López, 1992, p.21-22)

– Características de los agregados

**Peso específico.** El peso específico se determina a partir de la relación existente entre 10 la masa de las partículas y el volumen que estas ocupan, excluyendo los espacios vacíos 39 presentes entre ellas. Las normas ASTM C-127 y ASTM C-128 establecen el procedimiento estandarizado para realizar esta determinación en condiciones de laboratorio, distinguiendo tres maneras de expresarlo de acuerdo con el estado de saturación en que se encuentre el material. Cabe resaltar que las expresiones normativas de este parámetro son adimensionales; por lo tanto, para obtener un valor aplicable en los cálculos de ingeniería, es necesario multiplicarlas 2 por la densidad del agua en la unidad correspondiente. En el caso de los agregados

convencionales, este valor suele encontrarse dentro del rango de 2,500 a 2,750 kg/m<sup>3</sup>. (Pasquel

Carbajal, 1998, p.74)

<sup>11</sup> **Peso unitario.** El peso unitario se determina estableciendo la relación entre la masa de las partículas y el volumen total que estas ocupan, contemplando tanto el espacio sólido de las mismas como los vacíos existentes entre ellas. Debido a la inclusión de dichos intersticios, el valor obtenido se encuentra condicionado por la manera en que se acomodan o distribuyen las partículas dentro del conjunto, lo cual genera que este parámetro presente un carácter relativamente variable y dependiente de las condiciones de compactación y disposición del material. (Pasquel Carbajal, 1998, p.74)

La norma ASTM C-29 establece el procedimiento estándar para medirlo, compactando el agregado en un molde metálico mediante 25 golpes con una varilla de 5/8" en tres capas. El resultado de esta prueba <sup>8</sup> se utiliza en ciertos métodos de diseño de mezclas para calcular proporciones y realizar conversiones de peso a volumen o viceversa. (Pasquel Carbajal, 1998, p.74)

En este último escenario, resulta fundamental considerar que tales conversiones parten de la premisa de que el material en su condición natural posee el mismo peso unitario que aquel obtenido a partir del ensayo estandarizado; sin embargo, esta equivalencia no siempre se cumple debido a las variaciones generadas por el grado de compactación alcanzado. En algunos casos, el procedimiento se ejecuta sin aplicar compactación al material, lo que conduce a obtener el denominado 'peso unitario suelto'; no obstante, este valor tampoco refleja con exactitud la condición real que presenta el material en la obra, pudiendo originar discrepancias o errores al efectuar conversiones entre diseños basados en peso y aquellos formulados en función del volumen. (Pasquel Carbajal, 1998, p.74)

La forma más recomendable de minimizar el error mencionado consiste en realizar al menos cinco mediciones del peso unitario suelto, utilizando muestras tomadas de diferentes niveles de las pilas de almacenamiento, con el fin de representar posibles variaciones causadas por la segregación.

En el caso de agregados normales, el peso unitario suele encontrarse entre 1,500 y 1,700 kg/m<sup>3</sup>. (Pasquel Carbajal, 1998, p.76)

**Porcentaje de vacíos.** Consiste en la determinación del volumen relativo, expresado en términos porcentuales, que corresponde a los intersticios o huecos existentes entre las partículas que conforman el agregado. Este parámetro se ve igualmente condicionado por la manera en que dichas partículas se ordenan, distribuyen o acomodan dentro del conjunto; razón por la cual, al igual que ocurre con el peso unitario, se le reconoce como un valor de carácter relativo y dependiente de las condiciones de disposición del material. (Pasquel Carbajal, 1998, p.76)

**Absorción.** Se define como la propiedad que poseen los agregados para captar o retener cierta cantidad de agua en los vacíos o poros presentes dentro de su estructura interna. Este proceso se produce principalmente por efecto de la acción capilar, aunque los poros no llegan a saturarse en su totalidad, dado que inevitablemente permanece una fracción de aire atrapado en su interior. Este aspecto es relevante porque afecta al concreto, disminuyendo la cantidad de agua en la mezcla y alterando tanto sus propiedades mecánicas como su trabajabilidad. Por ello, es fundamental considerarlo al momento de realizar los ajustes necesarios en la mezcla.

(Pasquel Carbajal, 1998, p.76)

**Porosidad.** La porosidad se refiere al volumen de espacios vacíos dentro de las partículas de los agregados. Esta propiedad tiene un impacto considerable en las demás características de los agregados, ya que refleja su estructura interna. Aunque no existe un

método estándar de la ASTM para medirla, hay diversas técnicas que suelen ser complejas y de validez relativa. Una forma indirecta de estimarla es a través de la absorción, la cual suele dar un valor cercano a la porosidad, aunque generalmente un 10% menor, ya que no todos los poros se llenan completamente de agua. En los agregados normales, los valores de porosidad suelen ir del 0 al 15%, siendo lo más común entre el 1 y el 5%. En el caso de los agregados ligeros, estos valores pueden estar entre el 15 y el 50%. (Pasquel Carbajal, 1998, p.77)

**Humedad.** Se refiere al volumen de agua que permanece adherido a la superficie de las partículas del agregado en un instante específico. Dicha característica adquiere importancia debido a que incrementa la cantidad de agua presente en la mezcla del concreto; por esta razón, resulta indispensable tenerla en cuenta conjuntamente con el valor de absorción al momento de efectuar los ajustes correspondientes en el diseño de la dosificación. De esta manera, se garantiza que la mezcla final conserve las condiciones proyectadas y cumpla adecuadamente con los requisitos establecidos para su desempeño. (Pasquel Carbajal, 1998, p.77)

**d. Agua.** El agua constituye uno de los insumos más determinantes en la elaboración de la mezcla de concreto, dado que no solo interviene como agente que activa y posibilita el proceso de hidratación del cemento, sino que además condiciona de manera directa la trabajabilidad durante la colocación y la resistencia mecánica que alcanzará el material en su etapa final. La proporción agua-cemento (a/c) representa un parámetro esencial en el diseño de mezclas: un exceso de agua, si bien puede facilitar la manejabilidad y fluidez de la mezcla fresca, ocasiona una disminución en la resistencia, durabilidad y compacidad del concreto; por el contrario, un contenido insuficiente de agua dificulta el mezclado, el transporte y el fraguado, generando problemas de homogeneidad y desempeño. Asimismo, la calidad del agua utilizada desempeña un papel crucial, pues la presencia de impurezas, sales o contaminantes químicos puede interferir con las reacciones de hidratación del cemento y, en consecuencia, afectar de

manera negativa el comportamiento del material endurecido, comprometiendo incluso la seguridad estructural de la obra. Por ello, se recomienda usar agua potable o limpia para asegurar la calidad del concreto. (Neville, 2012, p. 205)

**Requisitos mínimos del agua para concreto.** Hasta el momento, ni el ACI ni el ASTM han definido requisitos específicos para el agua utilizada en la mezcla del concreto. No obstante, la Norma Nacional ITINTEC 339.88 ha dado un paso significativo al establecer las especificaciones correspondientes tanto para el agua de mezcla como para la de curado, las cuales se presentan a continuación en la **Tabla 4**:

**Tabla 4.**  
*Límites permisibles para agua de mezcla y de curado según la norma ITINTEC 339.088*

Descripción	Límite Permisible
1) Sólidos en suspensión	5,000 p.p.m máximo
2) Materia orgánica	3 p.p.m. máximo
3) Alcalinidad (NAHCO <sub>3</sub> )	1,000 p.p.m. máximo
4) Sulfato (Ión SO <sub>4</sub> )	600 p.p.m. máximo
5) Cloruros (Ión CL)	1,000 p.p.m. máximo
6) Ph	5 a 8

**Nota.** Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú, Pasquel, 1998, p.61

#### **74** 2.2.3.3. Propiedades del concreto fresco

a. **Trabajabilidad.** La trabajabilidad del concreto se define por el grado de facilidad o dificultad que presenta durante su mezcla, transporte, vaciado y compactación. Esta propiedad tiene un carácter relativo, ya que varía en función del tipo de herramientas manuales o equipos mecánicos disponibles en cada etapa del proceso constructivo. Además, las condiciones presentes en el momento de colocación y compactación pueden afectar esta cualidad, haciendo que el concreto sea más o menos trabajable. (Pasquel Carbajal, 1998, p.131)

Principalmente, la trabajabilidad está determinada por la cantidad <sup>2</sup> de agua, la proporción de **pasta y el balance adecuado entre** los agregados **finos y gruesos**. En condiciones ideales, este equilibrio permite que la mezcla fluya de forma continua y uniforme, ya sea de manera natural o inducida. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.131)**

De manera general, **un concreto** se considera **trabajable** cuando, durante su manipulación o desplazamiento, conserva alrededor de sus partículas de agregado grueso una película o recubrimiento uniforme de mortero con un espesor aproximado de 1/4 de pulgada. Esta condición asegura que los componentes permanezcan cohesionados, evitando la <sup>2</sup> segregación y favoreciendo tanto la colocación como el acabado de la mezcla. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.131)**

El ensayo de **asentamiento** utilizando **el Cono de Abrams** ha sido durante **mucho tiempo** el procedimiento estándar **para** estimar la **trabajabilidad del concreto**, ya que permite asignarle <sup>10</sup> un valor numérico a esta propiedad. Sin embargo, es importante destacar que **esta prueba** refleja <sup>1</sup> más la uniformidad de la mezcla que su **trabajabilidad real**, ya que mezclas con igual asentamiento pueden comportarse de forma distinta bajo condiciones similares de aplicación. **(Pasquel Carbajal, 1998, p.131)**

**b. Segregación.** Las diferencias existentes entre <sup>1</sup> las **densidades de los** distintos constituyentes **del concreto** generan **que**, de manera **natural**, **las partículas** de mayor peso específico tengan la tendencia a descender y depositarse en el fondo. No obstante, en la mayoría de situaciones prácticas, la densidad de la mezcla conformada por la pasta cementicia en conjunto con los agregados finos resulta únicamente alrededor de un 20% inferior a la correspondiente a los agregados gruesos. Esta diferencia relativamente moderada, sumada a la capacidad de resistencia al flujo que aporta la viscosidad del mortero, posibilita que las partículas de agregado grueso se mantengan distribuidas, suspendidas e inmersas de manera

uniforme dentro de la matriz del concreto, evitando su segregación. (Pasquel Carbajal, 1998, p.139)

Cuando la viscosidad del mortero disminuye —ya sea por una distribución deficiente de partículas, una granulometría inadecuada o una cantidad insuficiente de pasta—, se produce una separación de los agregados gruesos respecto del mortero, fenómeno que se conoce como segregación. En mezclas de concreto que contienen más del 55% de piedra en relación al peso total del agregado, esta segregación puede confundirse con una apariencia típica del material.

Para comprobar si se trata realmente de segregación, se recomienda tomar dos muestras de concreto fresco de distintos puntos y comparar el contenido de agregados gruesos mediante lavado. Si la diferencia entre ambos excede el 6%, puede confirmarse la presencia de segregación. (Pasquel Carbajal, 1998, p.141)

**c. Exudación.** La exudación es una característica del concreto que se manifiesta cuando parte del agua utilizada en la mezcla se separa del resto de la masa y asciende hacia la superficie. Este comportamiento se asocia al proceso de sedimentación, en el que los sólidos se asientan en el interior de la mezcla en estado plástico. Este fenómeno está influenciado por el flujo de fluidos a través de los poros capilares del concreto y no directamente por las diferencias en viscosidad o densidad. (Pasquel Carbajal, 1998, p.141)

**d. Contracción.** Esta propiedad es considerada esencial debido a la frecuencia con la que se presentan fisuras en el concreto. (Pasquel Carbajal, 1998, p.142)

La contracción intrínseca hace referencia a un proceso irreversible en el que la pasta de cemento disminuye su volumen, como resultado de la reducción del agua presente inicialmente por efecto de reacciones químicas. (Pasquel Carbajal, 1998, p.142)

Por otro lado, la contracción por secado es una de las principales causas de agrietamiento. Esta ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido del concreto,

cuando **la** mezcla pierde **agua**. A diferencia de **la** contracción intrínseca, **este** tipo de contracción no es permanente, ya que, si se rehidrata el concreto, es posible recuperar una gran parte del volumen perdido. (Pasquel Carbajal, 1998, p.142)

**e. Consistencia.** **La** consistencia del concreto es **una** característica **que** depende del nivel **de** humedad de **la** mezcla, lo cual influye en su fluidez. En términos generales, a mayor humedad, mayor será la facilidad con la que el concreto puede colocarse.

Aunque está relacionada con la trabajabilidad, la consistencia no es lo mismo. **Por** ejemplo, **una** mezcla **muy** trabajable para pavimentos **puede** tener alta consistencia, mientras que **una** mezcla con baja trabajabilidad utilizada **en** estructuras **con** mucha armadura **de** acero **aún** **puede** presentar una **consistencia** plástica. (Rivva, 1992, p. 34 - 35)

**f. Calor de hidratación (Temperatura).** El calor de hidratación se define como la energía térmica liberada a consecuencia de **las** reacciones químicas **que** tienen lugar entre las partículas de **cemento** **y** **el agua** al entrar en contacto. Este proceso se manifiesta mediante **un** **aumento** progresivo **de** **la** **temperatura** **en** **la** **masa** **del** **concreto**, cuya magnitud depende de diversos factores, entre ellos la composición química específica del cemento, el nivel de finura con el que haya sido molido y las condiciones ambientales existentes durante la etapa de curado. Dichos elementos, en conjunto, determinan la velocidad y la intensidad con que se desarrolla este fenómeno, influyendo de manera directa en el comportamiento y desempeño del material. (Abanto, 2017)

**g. Absorción.** La absorción es la capacidad que tiene el concreto para retener agua, y se expresa como un porcentaje. Su evaluación se basa principalmente en dos parámetros: **la** **cantidad** **de** **agua** **absorbida** **y** **la** **velocidad** **con** **que** **esta** **es** **absorbida** (succión). Esta propiedad está estrechamente relacionada con la porosidad del material, cuyos valores reales suelen superar en aproximadamente un 10 % a los valores obtenidos experimentalmente.

Este fenómeno ocurre cuando el concreto, al estar en contacto con líquidos, ejerce una fuerza de atracción que permite la penetración de las moléculas del fluido, las cuales ocupan los poros y capilares presentes en su estructura (**Quiroz y Salamanca, 2006, p. 132**).

<sup>28</sup> La capacidad de absorción **de una superficie de concreto** depende de diversos **factores**, entre ellos: **las proporciones de la mezcla**, el uso **de** aditivos químicos, **la** naturaleza y **propiedades físicas** de los materiales utilizados, **el tipo y duración del curado**, **el grado de hidratación**, **la edad del concreto** y **la** posible presencia de microgrietas (NTP 339.232, INDECOP, 2010).

<sup>29</sup> Los parámetros de absorción son determinados conforme a **la norma técnica peruana NTP 339.232**.

Disminuir **la** capacidad **de** absorción y **la** permeabilidad del concreto contribuye de manera significativa a incrementar su resistencia frente a los efectos dañinos ocasionados por los ciclos repetitivos de congelación y descongelación. Asimismo, esta reducción limita el ingreso y la penetración de sustancias agresivas, tales como iones de cloruro, compuestos sulfatados u otros agentes químicos presentes en el ambiente, que pueden comprometer la durabilidad y el desempeño estructural del material. (**Becerra Salas, 2012, p. 91**).

**h. Densidad o Peso unitario.** Esta propiedad es ampliamente utilizada **para el control de calidad en la producción del** concreto, ya que con frecuencia se elaboran mezclas de prueba con el fin de comparar las densidades obtenidas en laboratorio con las calculadas teóricamente a partir del diseño de mezclas. <sup>44</sup> **La densidad se determina como el cociente entre la masa y un volumen** conocido. Un concepto común en esta evaluación es el rendimiento relativo de la mezcla, el cual se considera aceptable mientras más se aproxime a uno. Este rendimiento se calcula dividiendo la densidad teórica entre la densidad real medida en laboratorio.

Además, evaluar esta característica es clave para analizar el comportamiento de los materiales que conforman la mezcla. Dado que los insumos pueden tener diferentes densidades, existe el riesgo de que los componentes más pesados tiendan a asentarse, provocando segregación dentro del concreto (Pasquel, 1998, p. 137).

i. **Vacíos o Contenido de Aire.** Esta propiedad se refleja principalmente en el contenido de aire presente en la mezcla, siendo una característica inherente del concreto en estado fresco. En ciertos casos, es posible incorporar aire de forma intencional con el propósito de modificar otras propiedades del material. Es común que se forme un sistema de vacíos entre los agregados gruesos, lo cual puede indicar una deficiencia de agregado fino en la mezcla.

Para su evaluación existen diversos métodos, entre ellos el método de presión (utilizando un manómetro), establecido en la norma NTP 339.080, y el método gravimétrico descrito en la norma NTP 339.046.

#### 2.2.3.4. <sup>1</sup>Propiedades del concreto endurecido

a. **Elasticidad.** La capacidad del concreto para deformarse temporalmente al ser sometido a una carga, sin conservar esa deformación una vez retirada la carga, es conocida como su elasticidad.

Aunque el concreto no se comporta como un material elástico en sentido estricto, ya que su relación carga-deformación en compresión no sigue una línea recta en ninguna parte del gráfico, es común hablar de un “módulo de elasticidad estático”. Este se define ya sea como la pendiente de la tangente en la parte inicial del gráfico o como la pendiente de una línea recta que une el origen con un punto específico, generalmente correspondiente a un porcentaje de la resistencia máxima.

Los rangos usuales de este módulo se ubican aproximadamente entre 250,000 y 350,000 kg/cm<sup>2</sup>. La magnitud que alcanza este parámetro presenta una correspondencia directa con la resistencia que desarrolla el concreto frente a esfuerzos de compresión, mientras que, al mismo tiempo, muestra una relación inversa respecto a la proporción agua/cemento utilizado en la mezcla, lo que evidencia la influencia de la dosificación en su comportamiento mecánico. <sup>48</sup>

Desde una perspectiva técnica, las dosificaciones de concreto que contienen un mayor porcentaje de cemento, conocidas comúnmente como mezclas ricas, suelen presentar valores más elevados del módulo de elasticidad, lo que se traduce en una mayor capacidad del material para soportar deformaciones antes de alcanzar el punto de falla. En contraposición, las mezclas con menor contenido de cemento, denominadas pobres, manifiestan módulos de elasticidad más reducidos y, por ende, una menor resistencia frente a las deformaciones. Para la determinación precisa de este parámetro en condiciones de laboratorio, la normativa ASTM C-469 establece el procedimiento estandarizado que debe seguirse con el fin de evaluar el módulo de elasticidad estático del concreto. (Pasquel Carbajal, 1998, p. 142 – 143)

**b. Resistencia.** La resistencia constituye la capacidad inherente del concreto para soportar y contrarrestar la acción de cargas externas y diferentes tipos de esfuerzos mecánicos. Dentro de sus distintas manifestaciones, la resistencia a la compresión se presenta como la más destacada y supera ampliamente a la resistencia a la tracción, lo cual se debe a las propiedades cohesivas y de unión que aporta la pasta de cemento en la mezcla. Este comportamiento resistente se encuentra condicionado, en gran medida, por la proporción de pasta cementicia existente en el concreto, parámetro que habitualmente se representa a través de la relación agua/cemento (a/c), expresada en función del peso de los materiales.. <sup>12</sup>

La resistencia a la flexión resulta especialmente útil cuando se busca verificar la homogeneidad del concreto, detectar fisuras por tracción o evaluar su comportamiento ante

cargas alternantes, como ocurre en pisos industriales o estructuras sometidas a vibraciones.

Además, esta propiedad adquiere mayor relevancia cuando se utilizan aditivos químicos o minerales que pueden modificar la adherencia, trabajabilidad o resistencia del concreto endurecido.

<sup>4</sup> Los mismos factores que afectan las propiedades de la pasta, como la temperatura y el tiempo, también influyen en la resistencia del concreto. A estos se suman otras variables como el tipo de cemento utilizado, sus características resistentes, y la calidad de los agregados, que en conjunto forman la estructura del concreto.

<sup>10</sup> El proceso de curado, aunque indirecto, tiene un papel fundamental en el desarrollo de la resistencia, ya que, sin una adecuada hidratación complementaria, el concreto no alcanza plenamente su capacidad resistente.

En cuanto a valores, los concretos convencionales presentan resistencias a la compresión entre 100 y 400 kg/cm<sup>2</sup>. Sin embargo, se han logrado superar los 700 kg/cm<sup>2</sup> mediante un diseño de mezclas optimizado, sin necesidad de aditivos. Además, con el uso de polímeros, aglomerantes sintéticos añadidos a la mezcla, se han alcanzado resistencias de hasta 1,500 kg/cm<sup>2</sup>, y se espera que los avances tecnológicos permitan superar aún más estas cifras en el futuro.

(Pasquel Carbajal, 1998, p.143)

**c. Extensibilidad.** La extensibilidad del concreto se refiere a su capacidad para deformarse sin llegar a agrietarse. Esta propiedad se evalúa según la deformación unitaria máxima que puede soportar sin que se presenten fisuras. Está relacionada con la elasticidad del material y con el fenómeno del flujo plástico, el cual incluye las deformaciones ocasionadas por la aplicación de cargas sostenidas en el tiempo.

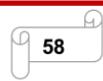
El flujo plástico permite cierta recuperación parcial de la deformación y, aunque está vinculado a la contracción, ambos procesos se consideran distintos <sup>78</sup> desde un punto de vista teórico.

La aparición de microfisuras suele presentarse cuando se alcanza una deformación final cercana al 60% <sup>2</sup> y una deformación unitaria de 0.0012; mientras que, en condiciones normales, las grietas visibles comienzan a generarse a partir de una deformación unitaria de aproximadamente 0.003. (Pasquel Carbajal, 1998, p.145)

**CAPITULO III:**  
**METODOLOGIA**

---

Bach. Martinez Rodriguez, Ricardo André



Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

### 3. <sup>27</sup> CAPITULO III: METODOLOGIA

#### 3.1. Enfoque de Investigación

La investigación tiene un **enfoque cuantitativo**, se centró en la obtención y el análisis de información numérica con el fin de medir variables y establecer relaciones objetivas entre ellas. Este enfoque buscó obtener resultados precisos y generalizables mediante el uso de técnicas estadísticas y herramientas matemáticas. (Borja Suárez, 2012)

Por ello, el presente estudio se enmarcó dentro del <sup>55</sup> **enfoque cuantitativo**, ya que se <sup>26</sup> fundamentó en la recolección y análisis de datos numéricos para evaluar las **características** <sup>26</sup> **físico-mecánicas del concreto** estándar adicionando **microsilice y fibra de alcohol polivinílico**, a través de ensayos normalizados.

#### 3.2. Método

##### 3.2.1. Nivel o Alcance de la Investigación

El **nivel explicativo** corresponde a un diseño cuya finalidad es indagar las razones que <sup>50</sup> originan los fenómenos, a través del análisis de las **relaciones de causa y efecto**. En este marco, los estudios **de carácter explicativo** pueden centrarse tanto en identificar los factores que provocan un hecho como en examinar las consecuencias que de él se derivan (investigación experimental), valiéndose para ello de la comprobación de hipótesis. Los hallazgos y conclusiones obtenidos representan el nivel más avanzado y profundo de generación de conocimiento. (Arias, s.f., según Tesis Plus, 2025)

Esta investigación es de **nivel explicativo** pues busca identificar y comprender las <sup>3</sup> causas por las que la **adición de microsilice y fibra PVA modifica las propiedades físico-** <sup>3</sup> **mecánicas del concreto** estándar. No se limita a describir o correlacionar, sino que explica los mecanismos mediante los cuales estos aditivos influyen en la resistencia, durabilidad y trabajabilidad. Este enfoque permitirá determinar porcentajes óptimos de adición para su uso.

### 3.3. Diseño de Investigación

Un **diseño cuasi experimental** es un **tipo de diseño** de investigación cuantitativa que **buscó establecer** relaciones de causa y efecto entre variables, pero sin asignación aleatoria de los grupos o tratamientos. Es decir, se trabaja con grupos que ya están formados previamente o que no pueden asignarse al azar por razones prácticas o éticas. (Borja Suárez, 2012).

El estudio se llevó a cabo siguiendo un diseño **cuasi experimental**, debido a que se realizó una manipulación controlada de la variable independiente, los porcentajes del microsilice al 5%, 10% y 15% del **cemento portland tipo I** y de la fibra de alcohol polivinílico al 0.5%, 1.0% y 1.5% del volumen del concreto con el propósito de analizar su impacto en las propiedades **físico-mecánicas del concreto** estándar.



Donde:

GE: Grupo Experimental

GC: Grupo Control

X: Estímulo

— : Ausencia de estímulo

O<sub>1</sub>, O<sub>2</sub> y O<sub>3</sub>: Observaciones de la variable dependiente pre estímulo.

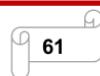
O<sub>4</sub>: Observaciones de la variable dependiente post estímulo

### 3.4. Población y muestra

En la presente investigación la población y la muestra coinciden, ya que se evaluará la totalidad de especímenes de concreto elaborados bajo las combinaciones propuestas de microsílice (5%, 10% y 15% en relación al peso del cemento) y fibra PVA (0.5%, 1.0% y 1.5% con respecto al volumen del concreto) debido a que los ensayos se desarrollan en un entorno controlado de laboratorio y con un número definido de probetas, no es necesario realizar un muestreo probabilístico. Por lo tanto, la población de estudio está constituida por todas las unidades experimentales consideradas en el diseño, las cuales serán evaluadas en su totalidad. Se adopta un muestreo no probabilístico, dado que la selección de las unidades experimentales responde a la necesidad de trabajar con todas las combinaciones previstas en el diseño experimental. Este enfoque garantiza que las observaciones se realicen sobre la totalidad de los casos relevantes para el objetivo de la investigación, optimizando la obtención de datos precisos y controlados.

1 Se elaboraron un total de 76 probetas cilíndricas (58 de 150mm x 300mm y 18 de 100mm x 200mm), como se detalla en la Tabla 5 y Tabla 6, la cual muestra la cantidad de muestras fabricadas en el laboratorio. Para la muestra patrón ( $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ), se ensayaron probetas a los 7 días y a los 28 días. Este mismo procedimiento se repitió para cada uno de los niveles de adición de microsílice en porcentaje del peso del cemento (5%, 10% y 15%) y para la adición de fibra PVA en porcentaje del volumen del concreto (0.5%, 1% y 1.5%). En total, se realizaron pruebas de resistencia sobre 46 muestras de diseño. Posteriormente, se identificó el contenido óptimo de adición de microsílice en porcentaje del cemento y adición de fibra de alcohol polivinílico en porcentaje del volumen del total de la probeta cilíndrica que ofreció una mejor resistencia, por lo que se fabricaron y ensayaron 30 probetas adicionales, evaluadas por compresión axial a los 28 días de curado.

Bach. Martínez Rodríguez, Ricardo André



Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

Se elaboraron vigas prismáticas de concreto con las siguientes características: tres vigas corresponderán a la muestra patrón (sin aditivos) y seis vigas se fabricarán utilizando la combinación correspondiente al porcentaje óptimo de adición de microsilice (respecto al peso del cemento) y fibra de alcohol polivinílico (respecto al volumen del concreto), determinada previamente mediante los ensayos de resistencia a la compresión.  
89

Todas las vigas serán curadas durante 28 días en condiciones controladas, y posteriormente se les aplicará el ensayo de resistencia a la flexión siguiendo los procedimientos estandarizados para asegurar la fiabilidad de los resultados

**Tabla 5.**

*Muestra para investigación - probetas cilíndricas de concreto de 150mm x 300mm  
Concreto -  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$*

Denominación	Número de probetas realizadas		Total
	A los 7 días	A los 28 días	
<b>Muestra Patrón</b>	2	2	4
<b>5% Microsilice – 0.5% Fibra PVA</b>	0	2	2
<b>10% Microsilice – 0.5% Fibra PVA</b>	0	2	2
<b>15% Microsilice – 0.5% Fibra PVA</b>	0	2	2
<b>5% Microsilice – 1.0% Fibra PVA</b>	2	2	4
<b>10% Microsilice – 1.0% Fibra PVA</b>	2	2	4
<b>15% Microsilice – 1.0% Fibra PVA</b>	2	2	4
<b>5% Microsilice – 1.5% Fibra PVA</b>	0	2	2
<b>10% Microsilice – 1.5% Fibra PVA</b>	0	2	2
<b>15% Microsilice – 1.5% Fibra PVA</b>	0	2	2
<b>% óptimo microsilice y % óptimo fibra PVA</b>	0	30	30
<b>Total</b>	<b>8</b>	<b>50</b>	<b>58</b>

**Tabla 6.**  
*Muestra para investigación - probetas cilíndricas de concreto de 100mm x 200mm*

Concreto -  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Denominación	Número de probetas realizadas		Total
	A los 7 días	A los 28 días	
5% Microsilice – 0.5% Fibra PVA	3	0	3
10% Microsilice – 0.5% Fibra PVA	3	0	3
15% Microsilice – 0.5% Fibra PVA	3	0	3
5% Microsilice – 1.5% Fibra PVA	3	0	3
10% Microsilice – 1.5% Fibra PVA	3	0	3
15% Microsilice – 1.5% Fibra PVA	3	0	3
<b>Total</b>	<b>18</b>	<b>0</b>	<b>18</b>

**Tabla 7.**  
*Muestra para investigación - probetas prismáticas de concreto de 150mm x 150mm x 500mm*

Concreto -  $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$

Denominación	Número de probetas prismáticas realizadas		Total
	A los 28 días		
Muestra Patrón	3		3
10% Microsilice – 1.0% Fibra PVA	6		6
<b>Total</b>	<b>9</b>		<b>9</b>

### 3.5. <sup>23</sup> Variables

#### 3.5.1. Variable independiente

##### Microsilice

- Definición Conceptual: La microsilice es un subproducto ultrafino de la producción de ferroaleaciones, compuesto principalmente por dióxido de silicio amorfo, que se utiliza como adición mineral en el concreto para mejorar su resistencia, durabilidad y densidad (ACI Committee 234, 2006).

– Definición Operacional: Corresponde a las dosificaciones experimentales del microsilice utilizadas en el diseño de mezcla, expresadas como porcentajes del total del peso del cemento, en porcentajes de 5%, 10% y 15%.

#### **Fibra de alcohol polivinílico**

– Definición Conceptual: La fibra PVA es un polímero sintético soluble en agua, caracterizado por su estructura altamente polar que <sup>24</sup> permite la formación de enlaces de hidrógeno tanto intra como intermoleculares. (Sakurada, 1985)

– Definición Operacional: Corresponde a las dosificaciones experimentales de la <sup>1</sup> fibra de Alcohol Polivinílico, utilizadas en el diseño de mezcla, expresadas como porcentajes del total del volumen del concreto, en porcentajes de 0.5%, 1.0% y 1.5%.

#### **3.5.2. Variable dependiente**

##### **Concreto estándar.**

– Definición Conceptual: El concreto estándar posee <sup>11</sup> propiedades físicas y mecánicas fundamentales como la resistencia a la compresión, la durabilidad y la trabajabilidad, las cuales dependen directamente de la calidad de sus componentes y del proceso de curado (Popovics, <sup>21</sup> 2018).

– Definición Operacional: Análisis a través de ensayos de laboratorio, aplicando un método que debe ajustarse a los requisitos establecidos para mezclas de concreto según la normativa actual.

#### **3.6. <sup>8</sup> Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

La recopilación de la información <sup>2</sup> se efectuó a través de ensayos desarrollados <sup>1</sup> en el Laboratorio de Mecánica de Suelos y en el Laboratorio de Tecnología del Concreto de la Universidad Nacional del Santa. En dichas instalaciones se evaluaron las características físicas del agregado grueso y del agregado fino. Posteriormente, al obtener los resultados

correspondientes a las pruebas de resistencia a la compresión realizadas sobre las probetas cilíndricas de concreto, se procedió a organizar y examinar dicha información mediante el uso de tablas y representaciones gráficas elaboradas en el software Microsoft Excel.

**3.7. Ensayos elaborados en el laboratorio de Mecánica de Suelos de los agregados**

- Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo) (NTP 339.089).
- Método de ensayo, determinación del contenido de humedad total evaporable de agregados por secado. (NTP 339.185).
- Análisis granulométrico del agregado fino y grueso (NTP 400.012).
- Método de ensayo para determinar la masa por unidad de volumen o densidad ("Peso Unitario") y los vacíos en los agregados (NTP 400.017).
- Método de ensayo, determinación de la densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado fino. (NTP 400.022).
- Método de ensayo, densidad relativa (peso específico) y absorción del agregado grueso. (NTP 400.021).

**Diseño de Mezcla de Concreto**

- Comité ACI 211

**Elaboración de las probetas de concreto**

- Práctica para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio (NTP 339.183).

**Ensayo a las probetas de concreto**

- Método de ensayo. Medición del asentamiento del concreto de cemento Portland. (NTP 339.035).

- Método de ensayo. Determinación de la temperatura del concreto de cemento Portland recién mezclado. (NTP 339.184).
- CONCRETO. Método de ensayo para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del concreto. (NTP 339.046)
- Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas. (NTP 339.034)
- Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto mediante vigas simples con carga en tercios. (NTP 339.072)

### 3.8. **Técnicas de Análisis de Resultados**

Los resultados obtenidos a partir de los ensayos de laboratorio serán organizados y sometidos a un análisis estadístico con el propósito de **determinar la influencia** que genera **la adición de microsilice y fibra de alcohol polivinílico** sobre **las propiedades físico-mecánicas del concreto** estándar. Se utilizarán métodos estadísticos, como el cálculo de promedios, desviación estándar y porcentajes, para sintetizar la información.

La interpretación de los datos se realizará considerando los parámetros técnicos definidos por las normativas actuales para concretos estándar, con el objetivo de identificar la dosificación más adecuada que optimice el rendimiento y cumpla con los requisitos establecidos.

**CAPITULO VI:**

# **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

---

Bach. Martínez Rodríguez, Ricardo André



Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

4. 41 CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Resultados

4.1.1. *Propiedades del microsilice y la fibra de alcohol polivinílico (PVA).*

4.1.1.1. Propiedades del microsilice (SIKAFUME)

**Propiedades.** SikaFume está compuesto por dióxido de silicio muy fino y reactivo, lo que contribuye a una notable cohesión interna y a una mayor retención de agua en el concreto fresco. Esto mejora considerablemente tanto su capacidad de bombeo como su <sup>18</sup> comportamiento reológico. En el concreto ya endurecido, el humo de sílice reacciona con la cal libre ( $\text{CaOH}_2$ ), generando compuestos adicionales de hidratación que producen una matriz cementicia mucho más compacta y densa. (Ficha técnica SIKAFUME, 2022, p. 1)

**Tabla 8.**  
Características técnicas detalladas del microsilice

Propiedad	Valor o Rango	Unidad / Detalle
Contenido de $\text{SiO}_2$	92.26%	Alta reactividad puzolánica
Peso específico / Densidad	2,250	$\text{kg/m}^3$
Densidad aparente compactada	625	$\text{kg/m}^3$
Tamaño de partícula	< 1 $\mu\text{m}$ (prom. $\approx 0.1 \mu\text{m}$ )	Micropartículas esféricas
Empaque disponible	20 kg / 25 kg	Formato en bolsas
Humedad	0.10	%
Dosificación recomendada	5 – 10 % (hasta 15%)	Respecto al peso del cemento
Normas técnicas	EN 13263-1 / ASTM C1240	Normas internacionales para microsilice
Vida útil	36	meses (almacenable en lugar seco)
Compatibilidad con aditivos	Alta	Superplasticificantes PCE, Sikament®, ViscoCrete®
Comportamiento en estado fresco	Mejorado	Mayor cohesión y bombeabilidad
Comportamiento en estado endurecido	Mejorado	Alta resistencia, baja permeabilidad

*Nota.* Ficha técnica SIKAFUME: 2022

**Propiedades en el Concreto.** Con la incorporación del microsilice, el concreto presentó las siguientes características:

- Alta estabilidad del hormigón fresco.
- Mayor durabilidad.
- <sup>18</sup> Mayores resistencias finales.
- Mayor resistencia a la abrasión.
- Mayor estanqueidad en el concreto endurecido.
- Excelente resistencia a la congelación y la sal de deshielo.
- <sup>18</sup> Reducción a la penetración de cloruros.

SikaFume está libre de cloruros y de compuestos que puedan inducir la corrosión del acero, por lo que su uso es completamente seguro en estructuras de concreto armado o pretensado, sin necesidad de restricciones. (Ficha técnica SIKAUME, 2022, p. 1)

#### 4.1.1.2. Propiedades de la fibra de alcohol polivinílico (RUYUAN® FIBRE).

Ruyuan® Fibre es una fibra monofilamento de polipropileno 100% virgen diseñada para usarse en concreto y reducir el agrietamiento por contracción plástica. Mejora la capacidad de deformación del concreto fresco, disminuyendo así el agrietamiento plástico. (Ficha técnica

RUYUAN FIBRE, 2023, p. 1)

**Características Técnicas de la fibra de alcohol polivinílico (RUYUAN® FIBRE).**

**Tabla 9.**  
*Rango de proporciones químicas presentes en la microsilice.*

<b>Fibra de Alcohol Polivinílico</b>	
Tipo de Material	Fibras monofilamentadas de polipropileno 100% virgen
Longitud de la Fibra	3 a 22 mm
Diámetro Nominal	22 $\mu$ m
Tenacidad	28.0 CN/Tex (2,745.96) MPa
Elongación a la Rotura	25%
Punto de Ablandamiento ( fusión)	165 °C
Temperatura de Ignición	Superior a 350 °C
Densidad	0.91 g/mL
Absorción	Nula
Conductividad Térmica	Baja
Conductividad Eléctrica	Baja
Resistencia a Ácidos y Sales	Alta
Módulo de Young	3.5 kN/mm <sup>2</sup>
Presentación	Bolsas de 600 g, 900 g, 1000 g (o según pedido)

**Nota.** Ficha técnica RUYUAN FIBRE: 2023, p. 1

**Usos Comunes.** La fibra de alcohol polivinílico es ideal para concreto en diferentes formas y tipos de estructuras tales como:

- Losas de piso.
- Entradas para vehículos.
- Paneles inclinados.
- Revestimientos de piso.
- Unidades prefabricadas.
- Concreto coloreado.

**(Ficha técnica RUYUAN FIBRE, 2023, p. 1)**

### Ventajas

- Reduce el agrietamiento por contracción plástica.
- Mejora la resistencia al impacto, fragmentación y abrasión.
- No mancha.
- En shotcrete: reduce el rebote, permite capas más gruesas, minimiza el deslizamiento, aumenta la resistencia a fatiga.
- Resistente a álcalis y polvo.

(Ficha técnica RUYUAN FIBRE, 2023, p. 1)

#### 4.1.2. Propiedades de los materiales relacionados al concreto estándar

##### 4.1.2.1. Agregado fino de la cantera "La Sorpresa"

**Tabla 10.**  
*Propiedades Físicas del Agregado Fino*

<b>Agregado Fino</b>		
<b>Descripción</b>	<b>Resultados</b>	
Módulo de fineza	2.81	
Contenido de Humedad	0.47	%
Absorción	1.72	%
Peso Específico	2.78	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	1604.47	Kg/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1791.63	Kg/cm <sup>3</sup>

4.1.2.2. Agregado grueso de la cantera “La Sorpresa”

Tabla 11.

Propiedades Físicas del Agregado Grueso

Agregado Grueso		
Descripción	Resultados	
Tamaño Máximo Nominal	3/4"	pulg.
Contenido de Humedad	0.31	%
Absorción	0.44	%
Peso Específico	2.65	gr/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Suelto	1402.58	Kg/cm <sup>3</sup>
Peso Unitario Compactado	1591.52	Kg/cm <sup>3</sup>

4.1.3. <sup>1</sup> Relación agua cemento para un concreto estándar con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>

4.1.3.1. <sup>2</sup> Diseño de mezcla de la Muestra Patrón

Se expuso la proporción en peso correspondiente al diseño de mezcla utilizada para la muestra patrón, cuya información detallada se encuentra disponible para su revisión en el Anexo 04.

4.1.3.2. <sup>2</sup> Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un  $F'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> y relación a/c (Muestra Patrón)

Tabla 12.

Dosificación en peso del Diseño de Mezcla para un  $F'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup> y relación a/c (Muestra Patrón)

Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	a/c (Diseño)	a/c (Efectiva)
1	2.12	2.70	25.03	0.5584	0.5889

**4.1.3.2.1. Dosisificación en Peso del Diseño de Mezcla para un  $F_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  (Adición de Microsilice y Fibra de Alcohol Polivinílico)**

**Tabla 13.**  
Cantidades en peso del Diseño de Mezcla para un  $F_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  (Adición del 5%, 10% y 15% de Microsilice (MCS); 0.5%, 1% y 1.5% de fibra de alcohol polivinílico (FPVA))

Descripción	Patrón	Cantidad de Material (Kg)								
		0.5% FPVA -5% MCS	0.5% FPVA -10% MCS	0.5% FPVA -15% MCS	1.0% FPVA -5% MCS	1.0% FPVA -10% MCS	1.0% FPVA -15% MCS	1.5% FPVA -5% MCS	1.5% FPVA -10% MCS	1.5% FPVA -15% MCS
Cemento	367.12	367.12	367.12	367.12	367.12	367.12	367.12	367.12	367.12	367.12
A. Fino	777.07	777.07	777.07	777.07	777.07	777.07	777.07	777.07	777.07	777.07
A. Grueso	989.78	989.78	989.78	989.78	989.78	989.78	989.78	989.78	989.78	989.78
Aqua	215.99	215.99	215.99	215.99	215.99	215.99	215.99	215.99	215.99	215.99
Microsilice	0.00	18.36	36.71	55.07	55.07	55.07	55.07	55.07	55.07	55.07
Fibra de PVA	0.00	4.55	4.55	4.55	9.10	9.10	9.10	13.65	13.65	13.65

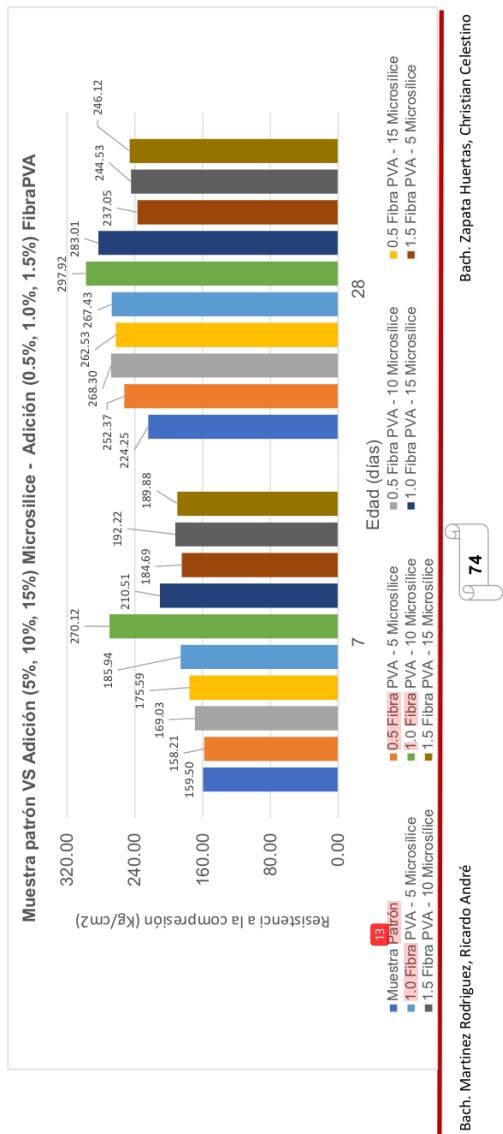
4.1.4. Propiedades físicas – mecánicas del concreto estándar mediante la adición del microsilice al 5%, 10% y 15% del cemento portland tipo I y de la fibra de alcohol polivinílico al 0.5%, 1.0% y 1.5% del volumen del concreto

#### 4.1.4.1. Propiedades Mecánicas

4.1.4.1.1. Gráficos de Resistencia a la Compresión de testigos de Concreto sin y con Adición del 5%, 10% y 15% con Microsilice y del 0.5%, 1% y 1.5% con Fibra PVA para  $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Figura 5.

Diagrama de barras de testigos cilíndricos de concreto  $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  (Muestra patrón VS Adición 5%, 10% y 15% con Microsilice - Adición 0.5%, 1% y 1.5% con Fibra PVA)

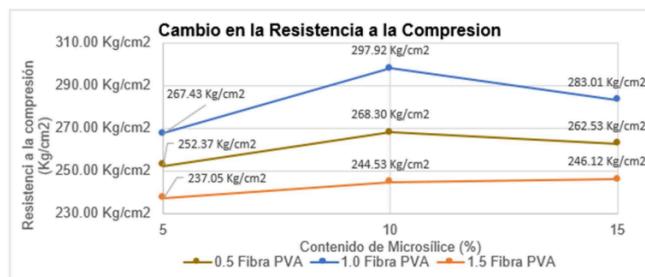


Bach. Martínez Rodríguez, Ricardo Andrés

Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

– En la Figura 5 comenzando con la interpretación, se observó que la muestra patrón sin MSC (0%) ni fibra PVA (0%) obtuvo como resultados la menor resistencia a la compresión a los 7 y 28 días <sup>19</sup> de curado. Este hallazgo determinó el punto de referencia a partir del cual se efectuó la comparación con las demás muestras. Al adicionar 5% de microsilice y 0.5% fibra PVA y a los 7 días, disminuyó en 1.29  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 28.12  $Kg/cm^2$ , al adicionar 10% de microsilice y 0.5% fibra PVA a la edad de 7 días, superó en 9.53  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 44.05  $Kg/cm^2$ , al adicionar 15% de microsilice y 0.5% fibra PVA a la edad de 7 días, superó en 16.09  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 38.28  $Kg/cm^2$ , al adicionar 5% de microsilice y 1.0% fibra PVA a la edad de 7 días, superó en 26.44  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 43.18  $Kg/cm^2$ , al adicionar 10% de microsilice y 1.0% fibra PVA a la edad de 7 días, superó en 110.62  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 73.67  $Kg/cm^2$ , al adicionar 15% de microsilice y 1.0% fibra PVA a la edad de 7 días, superó en 51.01  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 58.76  $Kg/cm^2$ , al adicionar 5% de microsilice y 1.5% fibra PVA a la edad de 7 días, superó en 25.19  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 12.80  $Kg/cm^2$ , al adicionar 10% de microsilice y 1.5% fibra PVA a la edad de 7 días, superó en 32.72  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 20.28  $Kg/cm^2$ , al adicionar 15% de microsilice y 1.5% fibra PVA a la edad de 7 días, superó en 30.38  $Kg/cm^2$  y a los 28 días, superó en 21.87  $Kg/cm^2$ . Se pudo apreciar claramente que la adición del 10% de microsilice y 1.0% de fibra PVA dio como resultado una variación positivamente significativa de la resistencia a la compresión. Este aumento notable subrayó la eficiencia de esta adición específica.

**Figura 6.**  
Cambio en la Resistencia a la Compresión  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$



– <sup>58</sup> Como se puede observar en la Figura 6 el comportamiento de la resistencia a la compresión al aumentar el contenido de microsilice bajo la condición de uso constante de Fibra PVA, como se puede observar la resistencia a la compresión alcanzó su valor máximo cuando se tiene el contenido de microsilice al 10% y Fibra PVA al 1.0%. También se observó que al adicionar un porcentaje mayor al 10% del microsilice empieza a disminuir la resistencia a la compresión de este modo, se identifica un eventual punto de saturación a partir del cual el incremento en el contenido de microsilice deja de generar ventajas adicionales de manera proporcional, específicamente en lo relacionado con el aumento de la resistencia a la compresión del concreto

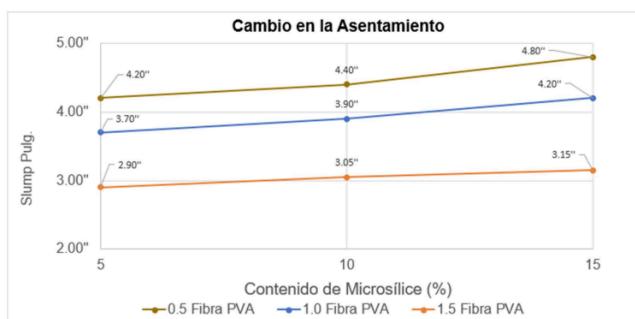
#### 4.1.4.2. Propiedades Físicas

##### 4.1.4.2.1. *Slump del Concreto Patrón y el Concreto con Adición Parcial del*

*Microsilice y Fibra PVA.* En la Tabla 14 se presenta el resumen de los valores de asentamiento (Slump) y de la resistencia a la compresión obtenidos durante el desarrollo de la presente investigación.

**Tabla 14.**  
Resultados Slump  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Muestra	Slump 1	Slump 2	Slump Promedio	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	
				7 días	28 días
Patrón	3.00"	3.40"	3.20"	159.50 Kg/cm <sup>2</sup>	224.25 Kg/cm <sup>2</sup>
0.5 Fibra PVA - 5 Microsilice	4.10"	4.30"	4.20"	158.21 Kg/cm <sup>2</sup>	252.37 Kg/cm <sup>2</sup>
0.5 Fibra PVA - 10 Microsilice	4.70"	4.10"	4.40"	169.03 Kg/cm <sup>2</sup>	268.30 Kg/cm <sup>2</sup>
0.5 Fibra PVA - 15 Microsilice	4.60"	5.00"	4.80"	175.59 Kg/cm <sup>2</sup>	262.53 Kg/cm <sup>2</sup>
1.0 Fibra PVA - 5 Microsilice	3.80"	3.60"	3.70"	185.94 Kg/cm <sup>2</sup>	267.43 Kg/cm <sup>2</sup>
1.0 Fibra PVA - 10 Microsilice	4.00"	3.80"	3.90"	270.12 Kg/cm <sup>2</sup>	297.92 Kg/cm <sup>2</sup>
1.0 Fibra PVA - 15 Microsilice	4.50"	3.90"	4.20"	210.51 Kg/cm <sup>2</sup>	283.01 Kg/cm <sup>2</sup>
1.5 Fibra PVA - 5 Microsilice	2.60"	3.20"	2.90"	184.69 Kg/cm <sup>2</sup>	237.05 Kg/cm <sup>2</sup>
1.5 Fibra PVA - 10 Microsilice	3.20"	2.90"	3.05"	192.22 Kg/cm <sup>2</sup>	244.53 Kg/cm <sup>2</sup>
1.5 Fibra PVA - 15 Microsilice	3.30"	3.00"	3.15"	189.88 Kg/cm <sup>2</sup>	246.12 Kg/cm <sup>2</sup>
% Optimo Fibra PVA - % Optimo Microsilice	3.70"	3.60"	3.65"	-	326.44 Kg/cm <sup>2</sup>

**Figura 7.**
*Cambio de Asentamiento (Slump) (Adición % Microsilice - Adición % Fibra PVA)*


– Según lo que se observa en la Tabla 14 el concreto de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y sin adición (muestra patrón), presentó un asentamiento (slump) de  $3.2"$ , lo que indicó una mezcla trabajable con consistencia plástica.

1 – Según la Figura 7 el slump de la mezcla de concreto estándar  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  comenzó aumentar al adicionar parcialmente el microsilice y a disminuir al adicionar parcialmente la fibra PVA. Luego se halló el mejor porcentaje de adición parcial y se pudo comprobar que:

– El asentamiento (Slump) registrado en la muestra de concreto convencional se incrementa, al igual que su nivel de manejabilidad o facilidad de colocación, cuando se eleva el porcentaje de incorporación parcial de microsilice en la mezcla.

2 – El Slump de la muestra de concreto estándar disminuye, así como la trabajabilidad cuando el porcentaje de adición parcial de la fibra PVA es mayor.

**4.1.4.2.2. Temperatura del Concreto Patrón y el Concreto con Adición Parcial del**

**Microsílice y Fibra PVA.** <sup>41</sup> En la Tabla 15 se presenta el resumen de los valores de temperatura

<sup>21</sup> y de la resistencia a la compresión obtenidos durante el desarrollo de la presente investigación.

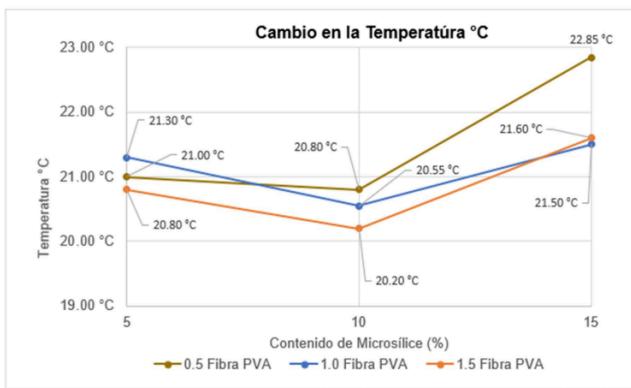
**Tabla 15.**

Resultados Temperatura  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Muestra	Temperatura °C			Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	
				7 días	28 días
Patrón	21.50 °C	21.30 °C	21.40 °C	159.50 Kg/cm <sup>2</sup>	224.25 Kg/cm <sup>2</sup>
0.5 Fibra PVA - 5 Microsilice	20.50 °C	21.50 °C	21.00 °C	158.21 Kg/cm <sup>2</sup>	252.37 Kg/cm <sup>2</sup>
0.5 Fibra PVA - 10 Microsilice	20.00 °C	21.60 °C	20.80 °C	169.03 Kg/cm <sup>2</sup>	268.30 Kg/cm <sup>2</sup>
0.5 Fibra PVA - 15 Microsilice	22.80 °C	22.90 °C	22.85 °C	175.59 Kg/cm <sup>2</sup>	262.53 Kg/cm <sup>2</sup>
1.0 Fibra PVA - 5 Microsilice	21.60 °C	21.00 °C	21.30 °C	185.94 Kg/cm <sup>2</sup>	267.43 Kg/cm <sup>2</sup>
1.0 Fibra PVA - 10 Microsilice	20.15 °C	20.95 °C	20.55 °C	270.12 Kg/cm <sup>2</sup>	297.92 Kg/cm <sup>2</sup>
1.0 Fibra PVA - 15 Microsilice	21.70 °C	21.30 °C	21.50 °C	210.51 Kg/cm <sup>2</sup>	283.01 Kg/cm <sup>2</sup>
1.5 Fibra PVA - 5 Microsilice	20.50 °C	21.10 °C	20.80 °C	184.69 Kg/cm <sup>2</sup>	237.05 Kg/cm <sup>2</sup>
1.5 Fibra PVA - 10 Microsilice	19.80 °C	20.60 °C	20.20 °C	192.22 Kg/cm <sup>2</sup>	244.53 Kg/cm <sup>2</sup>
1.5 Fibra PVA - 15 Microsilice	22.00 °C	21.20 °C	21.60 °C	189.88 Kg/cm <sup>2</sup>	246.12 Kg/cm <sup>2</sup>
% Optimo Fibra PVA - % Optimo Microsilice	20.60 °C	20.10 °C	20.35 °C	-	326.44 Kg/cm <sup>2</sup>

**Figura 8.**

*Cambio de Temperatura °C (Adición % Microsilice - Adición % Fibra PVA)*



- El concreto de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y sin adición (muestra patrón) presentó una Temperatura  $20.20^\circ\text{C}$ .
- De la figura 8, se observa que la influencia del microsilice y la fibra PVA en la temperatura del concretó es variable.

4.1.4.2.3. *Peso Unitario (Densidad) y Contenido de Aire del Concreto Fresco*

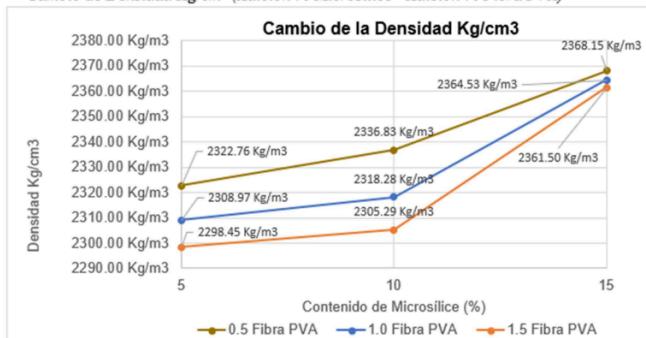
(*Gravimétrico*) del *Concreto Patrón* y el *Concreto con Adición Parcial del Microsilice y Fibra PVA*. Se muestra el resumen de las tomas de *Peso unitario y contenido de aire* en la presente investigación, en la *Tabla 16*

**Tabla 16.**  
Resultados Temperatura  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Muestra	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Vacios %
Patrón	2281.08 Kg/m <sup>3</sup>	3.617
0.5 Fibra PVA - 5 Microsilice	2322.76 Kg/m <sup>3</sup>	1.472
0.5 Fibra PVA - 10 Microsilice	2336.83 Kg/m <sup>3</sup>	0.825
0.5 Fibra PVA - 15 Microsilice	2368.15 Kg/m <sup>3</sup>	0.567
1.0 Fibra PVA - 5 Microsilice	2308.97 Kg/m <sup>3</sup>	1.775
1.0 Fibra PVA - 10 Microsilice	2318.28 Kg/m <sup>3</sup>	1.344
1.0 Fibra PVA - 15 Microsilice	2364.53 Kg/m <sup>3</sup>	0.689
1.5 Fibra PVA - 5 Microsilice	2298.45 Kg/m <sup>3</sup>	1.902
1.5 Fibra PVA - 10 Microsilice	2305.29 Kg/m <sup>3</sup>	1.588
1.5 Fibra PVA - 15 Microsilice	2361.50 Kg/m <sup>3</sup>	0.889
% Optimo Fibra PVA - % Optimo Microsilice	2330.14 Kg/m <sup>3</sup>	0.827

Figura 9.

Cambio de Densidad Kg/cm<sup>3</sup> (Adición % Microsilice - Adición % Fibra PVA)

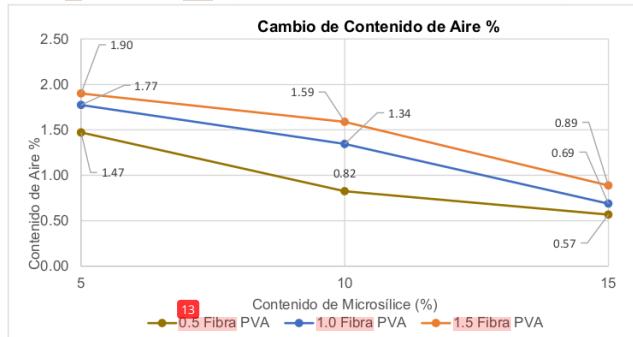


– El concreto de diseño de 210 kg/cm<sup>2</sup> y sin adición (muestra patrón) presentó una densidad de 2,281.08 Kg/m<sup>3</sup>.

– De la Figura 9 se infirió que, a medida que se elevaba el porcentaje de adición de MSC, la densidad del concreto muestra un incremento progresivo; en contraste, al incrementarse la proporción de fibra PVA incorporada en la mezcla, se evidenció una reducción en la densidad del concreto en el concreto fresco.

**Figura 10.**

Cambio de Contenido de Aire % (Adición % Microsilice - Adición % Fibra PVA)



– El concreto de diseño de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y sin adición (muestra patrón) presentó un % de vacíos de 3.617%.

– De la figura 10, se observa que a medida que el porcentaje de adición del microsilice aumentó, disminuyó el porcentaje de contenido de aire y cuando aumenta la adición de la fibra PVA, aumenta el contenido de aire.

**4.1.4.2.4. Evaluación de las Propiedades del Concreto con Adición Parcial de Microsilice y Fibra PVA y Selección del Óptimo Porcentaje de Adición Parcial.** A partir de 66 los ensayos de resistencia a la compresión y flexión en los especímenes los cuales son los más relevantes, se determinó que óptimo contenido de adición del microsilice en base al peso del Cemento Portland Tipo I es 10% y el porcentaje óptimo de la Fibra PVA en base al Volumen del concreto es 1.0% para un diseño con  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .<sup>7</sup>

4.1.5. 1. *Influencia de la adición óptima del microsilice y de la fibra de alcohol polivinílico (PVA)*

4.1.5.1. 2. *Resultados del ensayo de resistencia a la compresión de testigos de concreto con mejor comportamiento resistente (porcentaje óptimo)*

Tabla 17.

Testigos Cilíndricos de concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  Adición de 10% de Cemento Portland I con

Microsilice y Adición de 1.0% de Volumen del concreto con Fibra PVA evaluados a los 28 días

PROBETA	FUERZA	TESTIGOS CILÍNDRICOS DE CONCRETO - OPTIMA RESISTENCIA			
		DIAMETRO	AREA	F'C	%
1	57,590.00 Kg.	15.10 cm	179.08 cm <sup>2</sup>	321.59 Kg/cm <sup>2</sup>	153.14%
2	58,060.00 Kg.	15.20 cm	181.46 cm <sup>2</sup>	319.96 Kg/cm <sup>2</sup>	152.36%
3	58,320.00 Kg.	15.18 cm	180.98 cm <sup>2</sup>	322.24 Kg/cm <sup>2</sup>	153.45%
4	59,230.00 Kg.	14.95 cm	175.54 cm <sup>2</sup>	337.42 Kg/cm <sup>2</sup>	160.68%
5	57,900.00 Kg.	14.98 cm	176.24 cm <sup>2</sup>	328.52 Kg/cm <sup>2</sup>	156.44%
6	58,930.00 Kg.	15.10 cm	179.08 cm <sup>2</sup>	329.07 Kg/cm <sup>2</sup>	156.70%
7	57,590.00 Kg.	15.12 cm	179.55 cm <sup>2</sup>	320.74 Kg/cm <sup>2</sup>	152.73%
8	58,400.00 Kg.	15.17 cm	180.74 cm <sup>2</sup>	323.11 Kg/cm <sup>2</sup>	153.86%
9	58,930.00 Kg.	15.16 cm	180.50 cm <sup>2</sup>	326.47 Kg/cm <sup>2</sup>	155.46%
10	58,360.00 Kg.	15.15 cm	180.27 cm <sup>2</sup>	323.74 Kg/cm <sup>2</sup>	154.16%
11	58,360.00 Kg.	15.10 cm	179.08 cm <sup>2</sup>	325.89 Kg/cm <sup>2</sup>	155.19%
12	57,500.00 Kg.	15.07 cm	178.37 cm <sup>2</sup>	322.37 Kg/cm <sup>2</sup>	153.51%
13	59,010.00 Kg.	15.12 cm	179.55 cm <sup>2</sup>	328.65 Kg/cm <sup>2</sup>	156.50%
14	58,120.00 Kg.	15.08 cm	178.60 cm <sup>2</sup>	325.41 Kg/cm <sup>2</sup>	154.96%
15	58,760.00 Kg.	15.20 cm	181.46 cm <sup>2</sup>	323.82 Kg/cm <sup>2</sup>	154.20%
16	58,030.00 Kg.	14.98 cm	176.24 cm <sup>2</sup>	329.26 Kg/cm <sup>2</sup>	156.79%
17	58,910.00 Kg.	14.97 cm	176.01 cm <sup>2</sup>	334.70 Kg/cm <sup>2</sup>	159.38%

RESISTENCIA PROMEDIO:		326.44 Kg/cm2			
18	58,900.00 Kg.	15.16 cm	180.50 cm2	326.31 Kg/cm2	155.38%
19	58,000.00 Kg.	15.08 cm	178.60 cm2	324.74 Kg/cm2	154.64%
20	59,060.00 Kg.	15.04 cm	177.66 cm2	332.44 Kg/cm2	158.30%
21	58,130.00 Kg.	15.12 cm	179.55 cm2	323.75 Kg/cm2	154.17%
22	58,430.00 Kg.	14.98 cm	176.24 cm2	331.53 Kg/cm2	157.87%
23	58,060.00 Kg.	14.99 cm	176.48 cm2	328.99 Kg/cm2	156.66%
24	59,090.00 Kg.	15.20 cm	181.46 cm2	325.64 Kg/cm2	155.07%
25	57,870.00 Kg.	15.15 cm	180.27 cm2	321.02 Kg/cm2	152.87%
26	57,840.00 Kg.	15.08 cm	178.60 cm2	323.84 Kg/cm2	154.21%
27	59,120.00 Kg.	15.14 cm	180.03 cm2	328.39 Kg/cm2	156.38%
28	58,340.00 Kg.	14.99 cm	176.48 cm2	330.58 Kg/cm2	157.42%
29	57,760.00 Kg.	15.13 cm	179.79 cm2	321.26 Kg/cm2	152.98%
30	58,600.00 Kg.	15.00 cm	176.71 cm2	331.61 Kg/cm2	157.91%

14 En la tabla 17 se visualiza que la resistencia a la compresión mejora en un 55.45% al adicionar el porcentaje óptimo de 10% del peso del cemento con microsílice y 1% del volumen del concretó con fibra PVA en una muestra de 30 probetas cilíndricas. El valor de 326.44 kg/cm<sup>2</sup> corresponde a la media muestral.

## Media

### Ecuación 01. Media

**Dónde:**

**X**= Media       $\Sigma$ = Sumatoria de resistencias      **n**= Número total de pruebas

### Desviación estándar

**Ecuación 02.** Desviación Estándar

Dónde:

**Ds**= Desviación estándar    **X**= Media    **Xn**= Resistencia a la compresión obtenida

### Coeficiente de variación

## Ecuación 03. Coeficiente de Variación

### Dónde:

**Ds**= Desviación estándar    **X**= Media    **V**= Coeficiente de variación

Tabla 18

2 Resultado de la Estadística Descriptiva de los Testigos Cilíndricos de concreto de E'c=210

*Kg/cm<sup>2</sup> con Adición de 10% de Cemento Portland I co*

### *Volumen del concreto con Fibra PVA.*

Estadística

<b>Media</b>	326.44 Kg/cm2
<b>Desviación Estándar</b>	4.40
<b>Coeficiente de Variación</b>	1.35
<b>Mínimo</b>	319.96 Kg/cm2
<b>Máximo</b>	337.42 Kg/cm2
<b>Muestra</b>	30

**Tabla 19.**

**5 Valores de dispersión en el control estadístico del concreto estándar**

<b>DISPERSION TOTAL</b>					
<b>CLASE DE OPERACIÓN</b>	<b>Desviación Estándar para diferentes grados de control (kg/cm<sup>2</sup>)</b>				
	<b>Excelente</b>	<b>Muy bueno</b>	<b>Bueno</b>	<b>Suficiente</b>	<b>Deficiente</b>
Concreto en obra	< a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	> a 49.2
Concreto en laboratorio	< a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	> a 24.6

<b>DISPERSION ENTRE TESTIGOS</b>					
<b>CLASE DE OPERACIÓN</b>	<b>Coeficiente de Variación para diferentes grados de control (%)</b>				
	<b>Excelente</b>	<b>Muy bueno</b>	<b>Bueno</b>	<b>Suficiente</b>	<b>Deficiente</b>
Concreto en obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> a 6.0
Concreto en laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> a 5.0

**Nota.** Tópicos de Tecnología del concreto, Pasquel (1999, 2da Ed, p.161)

– Al contrastar el valor de la desviación estándar calculada con los intervalos de dispersión global establecidos para el concreto en la Tabla 19, se determinó que el material producido en condiciones de laboratorio alcanza una calificación correspondiente a la categoría de excelente. Esto se debe a que el valor obtenido de la desviación estándar ( $D_s = 4.40$ ) resulta considerablemente menor al límite máximo de referencia fijado en 14.1, lo que evidencia una alta uniformidad y homogeneidad en las propiedades del concreto analizado.

– Al efectuar el análisis correspondiente al coeficiente de variación que refleja la dispersión existente entre los testigos ensayados, y de acuerdo con lo consignado en la Tabla 19, se determinó que el concreto elaborado en laboratorio registró un valor equivalente a 1.35. Este resultado se ubicó dentro del rango inferior, específicamente en el intervalo menor a 2.0, lo cual permitió establecer que el nivel de uniformidad y consistencia alcanzado por las probetas es altamente satisfactorio. En consecuencia, el concreto evaluado fue clasificado dentro de la categoría de excelente, evidenciando un control adecuado en el proceso de mezclado y una baja variabilidad en sus propiedades mecánicas.

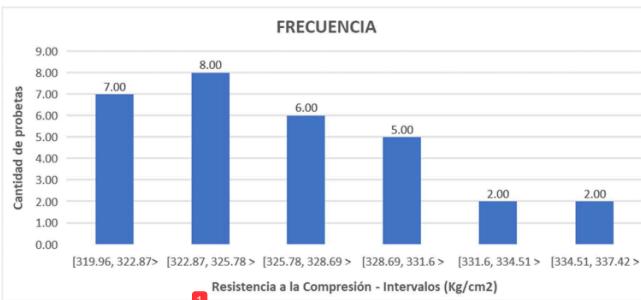
**Tabla 20.**

**4**  
Frecuencia de Testigos Cilíndricos de concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  Adición de 10% de Cemento Portland I con Microsilice y Adición de 1.0% de Volumen del espécimen con Fibra PVA.

Intervalo	Frecuencia
[319.96, 322.87>	7.00
[322.87, 325.78 >	8.00
[325.78, 328.69 >	6.00
[328.69, 331.6 >	5.00
[331.6, 334.51 >	2.00
[334.51, 337.42 >	2.00

**Figura 11.**

**2**  
Histograma de testigos cilíndricos de concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  con Adición de 10% de Cemento Portland I con Microsilice y Adición de 1.0% de Volumen del espécimen con Fibra PVA



**1** Distribución Normal: Los resultados de resistencia a la compresión para un

determinado concreto suelen ajustarse a una distribución normal de frecuencias. Esto es útil para analizar la probabilidad de una variable continua en torno a un valor promedio. El área total bajo la curva normal equivale al 100 % de los datos, y el eje horizontal abarca aproximadamente seis veces la desviación estándar (6 Ds). A partir de esto, se establecen

intervalos sumando o restando múltiplos de la desviación estándar al valor medio, para definir los distintos porcentajes de ocurrencia. La fórmula que describe este comportamiento es:

## Ecuación 04. Distribución Normal

### Dónde:

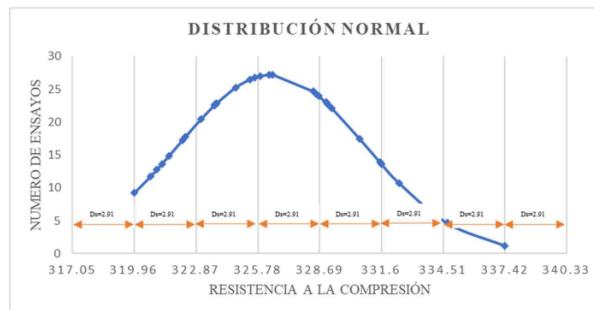
**Ds** = Desviación estándar

**X** = Cada valor del ensayo en su posición i

**Xprom** = Media

Figura 12.

4 **Distribución Normal – Testigos cilíndricos de Concreto de F'c=210 Kg/cm<sup>2</sup> con Adición de 10% de Cemento Portland I con Microsilice y Adición de 1.0% de Volumen del espécimen con Fibra PVA**



De la Figura 12. Se afirmó lo siguiente:

- Existe la probabilidad de ocurrencia que el 54.87% de los resultados de los ensayos de **existencia a la compresión de los testigos de concreto** elaborados con adición al 10% del cemento Portland I con Microsilice y adición al 1.0% de volumen del concreto con Fibra PVA entre 325.78  $Kg/cm^2$  y 331.60  $Kg/cm^2$  a los 28 días de curado de la probeta cilíndrica.

– Existe la probabilidad de ocurrencia que el 88.60% de los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de los testigos de concreto elaborados con adición al 10% del Cemento Portland I con Microsilice y adición al 1.0% de volumen del concreto con Fibra PVA oscilen entre 322.87 *Kg/cm<sup>2</sup>* y 334.51 *Kg/cm<sup>2</sup>* a los 28 días de curado de la probeta cilíndrica.

– Existe la probabilidad de ocurrencia que el 97.82% de los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de los testigos de concreto elaborados con adición al 10% del Cemento Portland I con Microsilice y adición al 1.0% de volumen del concreto con Fibra PVA oscilen entre 319.96 *Kg/cm<sup>2</sup>* y 337.42 *Kg/cm<sup>2</sup>* a los 28 días de curado de la probeta cilíndrica.

#### **4.1.5.2. Resultados del ensayo de resistencia a la flexión de testigos de concreto con mejor comportamiento resistente (porcentaje óptimo)**

**Tabla 21.**

*Testigos Cilíndricos de concreto de  $F'c=210\text{ Kg/cm}^2$  Adición de 10% de Cemento Portland I con Microsilice y Adición de 1.0% de Volumen del concreto con Fibra PVA evaluados a los 28 días*

TESTIGOS PRISMÁTICOS DE CONCRETO - OPTIMA RESISTENCIA						
RESISTENCIA A LOS 28 DIAS						
PROBETA	FUERZA	ANCHO	ALTO	LARGO	$F'c$	%
1	3,500.00 Kg.	15.00 cm	15.00 cm	50.00 cm <sup>2</sup>	48.00 Kg/cm <sup>2</sup>	23%
2	3,000.00 Kg.	15.00 Kg.	15.00 Kg.	50.00 Kg.	41.00 Kg/cm <sup>2</sup>	20%
3	3,460.00 Kg.	15.00 Kg.	15.00 Kg.	50.00 Kg.	47.00 Kg/cm <sup>2</sup>	22%
4	3,250.00 Kg.	15.00 Kg.	15.00 Kg.	50.00 Kg.	45.00 Kg/cm <sup>2</sup>	21%
5	3,420.00 Kg.	15.00 Kg.	15.00 Kg.	50.00 Kg.	47.00 Kg/cm <sup>2</sup>	22%
6	3,760.00 Kg.	15.00 Kg.	15.00 Kg.	50.00 Kg.	52.00 Kg/cm <sup>2</sup>	25%
RESISTENCIA PROMEDIO:					46.67 Kg/cm <sup>2</sup>	

**Tabla 22.**

2  
Resultado de la Estadística Descriptiva de los Testigos Prismáticos de concreto de  $F'c=210$

$Kg/cm^2$  Adición de 10% de Cemento Portland I con Microsilice y Adición de 1.0% de

Volumen del espécimen con Fibra PVA.

<b>Estadística Descriptiva</b>	
Media	46.67 Kg/cm <sup>2</sup>
Desviación Estándar	3.61
Coeficiente de Variación	3.75
Mínimo	41.00 Kg/cm <sup>2</sup>
Máximo	52.00 Kg/cm <sup>2</sup>
Muestra	6

– Al proceder a situar el valor de la desviación estándar obtenida en los ensayos dentro

de los márgenes de dispersión total establecidos para el concreto, tal como se especifica en la Tabla 19, se pudo determinar que el material fabricado en laboratorio alcanza una calificación de nivel excelente. Este resultado se fundamenta en que el valor calculado de la desviación estándar ( $D_s = 3.61$ ) se encuentra claramente por debajo del límite máximo de referencia (14.1), lo que evidencia una muy baja variabilidad en los resultados experimentales, reflejando así una notable homogeneidad en las mezclas y un control adecuado de los procedimientos de elaboración.

**Tabla 23.**

4  
Frecuencia de Testigos Prismáticos de concreto de  $F'c=210$   $Kg/cm^2$  Adición de 10% de

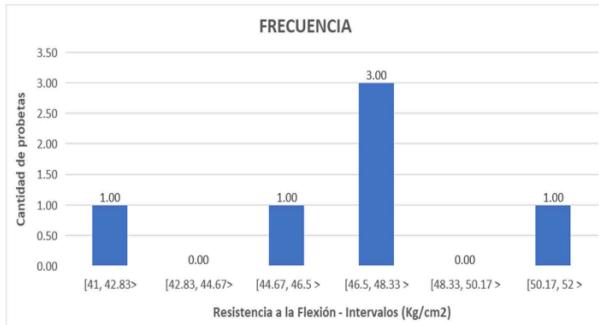
Cemento Portland I con Microsilice y Adición de 1.0% de Volumen del espécimen con Fibra

PVA.

Intervalo	Frecuencia
[41, 42.83>	1.00
[42.83, 44.67>	0.00
[44.67, 46.5 >	1.00
[46.5, 48.33 >	3.00
[48.33, 50.17 >	0.00
[50.17, 52 >	1.00

**Figura 13.**

**Histograma de testigos prismáticos de concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  con Adición de 10% de Cemento Portland I con Microsilice y Adición de 1.0% de Volumen del espécimen con Fibra PVA**



**Figura 14.**

**Distribución Normal – Testigos prismáticos de Concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$  con Adición de 10% de Cemento Portland I con Microsilice y Adición de 1.0% de Volumen del espécimen con Fibra PVA**



De la Figura 14. **Distribución Normal** podemos afirmar lo siguiente:

– Existe la probabilidad de ocurrencia que el 67.80% de los resultados de los ensayos para determinar el módulo de rotura de los testigos de concreto elaborados con adición al 10% <sup>1</sup>

del Cemento Portland I con Microsilice y adición al 1.0% de volumen del concreto con Fibra PVA oscilen entre 44.67  $Kg/cm^2$  y 48.33  $Kg/cm^2$  a los 28 días. <sup>13</sup>

– Existe la probabilidad de ocurrencia que el 95.30% de los resultados de los ensayos para determinar el módulo de rotura de los testigos de concreto elaborados con adición al 10% del Cemento Portland I con Microsilice y adición al 1.0% de volumen del concreto con Fibra PVA oscilen entre 42.83  $Kg/cm^2$  y 50.17  $Kg/cm^2$  a los 28 días. <sup>13</sup>

– Existe la probabilidad de ocurrencia que el 99.71% de los resultados de los ensayos para determinar el módulo de rotura de los testigos de concreto elaborados con adición al 10% del Cemento Portland I con Microsilice y adición al 1.0% de volumen del concreto con Fibra PVA oscilen entre 41  $Kg/cm^2$  y 52  $Kg/cm^2$  a los 28 días. <sup>13</sup>

#### 4.1.6. <sup>5</sup> Prueba de hipótesis

La prueba de la hipótesis formulada para la tesis, se enfocó en comprobar la afirmación que la incorporación de microsilice en proporciones del 5%, 10% y 15% respecto al contenido de cemento, así como la adición de fibras de alcohol polivinílico en porcentajes <sup>1</sup> del 0.5%, 1.0% y 1.5% en relación al volumen del concreto, generan variaciones significativas en las propiedades físico – mecánicas del concreto estándar.

Hipótesis nula (HO): La adición del microsilice en proporciones del 5%, 10% y 15% respecto al contenido de cemento y la adición de fibras de alcohol polivinílico en porcentajes <sup>1</sup> del 0.5%, 1.0% y 1.5% en relación al volumen del concreto no varían significativamente las <sup>7</sup> propiedades físico – mecánicas del concreto estándar.

Hipótesis alternativa (H1): La adición del microsilice en proporciones del 5%, 10% y 15% respecto al contenido de cemento y la adición de fibras de alcohol polivinílico en porcentajes del 0.5%, 1.0% y 1.5% en relación al volumen del concreto varían significativamente las propiedades físico – mecánicas del concreto estándar.

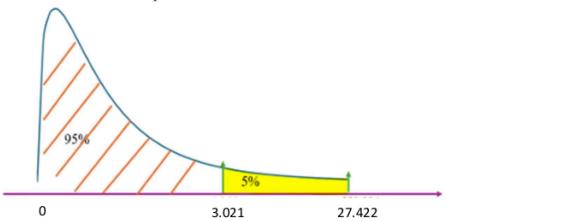
La comprobación de la hipótesis se llevó a cabo utilizando el análisis ANOVA para la aceptar o rechazar la hipótesis nula con respecto a la resistencia a la compresión (Propiedad mecánica).

**Tabla 24.** <sup>4</sup>  
Análisis de la varianza <sup>6</sup> de la resistencia a la compresión con  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  sin y con Adición del 5%, 10% y 15% del peso del cemento con Microsilice y del 0.5%, 1% y 1.5% del Volumen del concreto con Fibra PVA <sup>43</sup>

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad para F	Valor crítico
Entre grupos	8731.07817	9	970.119797	27.4228361	6.8184E-06	3.02038295
Dentro de los grupos	353.763482	10	35.3763482			
Total	9084.84166	19				

El análisis del estadístico F reveló un valor de 27.4228361, el cual excedió considerablemente el valor crítico de F de 3.0208295, como se puede observar en la Figura 15, indicando la existencia de diferencias significativas entre los distintos grupos. De manera adicional, la probabilidad asociada (valor P = 6.8184E-06) resultó notablemente inferior al nivel de significancia convencional de 0.05, lo que confirma y respalda la presencia de diferencias estadísticamente relevantes entre los grupos evaluados.

**Figura 15.**  
Valor critico – Resistencia a la Compresión



En conclusión, al obtener un F-estadístico superior al valor crítico 17 una probabilidad menor al nivel de significancia de 0.05, se procedió a rechazar la hipótesis nula. Estos resultados demostraron que la incorporación de microsilice y fibra PVA, en los distintos porcentajes evaluados, tuvo una influencia significativa sobre la 1 resistencia a la compresión (propiedad mecánica del concreto), respaldando la hipótesis planteada en la investigación

La Tabla 25 mostró los hallazgos del análisis HSD de Tukey para la resistencia a la compresión del concreto con  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , adicionando microsilice en 5%, 10% y 15% del peso del cemento y Fibra PVA en 0.5%, 1% y 1.5% del Volumen del concreto. En la siguiente tabla, se presenta una interpretación resumida y clara de dichos datos.

**Tabla 25.**  
Tukey de la resistencia a la compresión con  $F'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  sin y con Adición del 5%, 10% y 15% del peso del cemento con Microsilice y del 0.5%, 1% y 1.5% del Volumen del concreto con Fibra PVA

Porcentaje de Adición	N	Diferencia muestral	Subconjunto para alfa = 0.05
0.5 Fibra PVA - 5 Microsilice	2	28.12307	0.0167388
0.5 Fibra PVA - 10 Microsilice	2	44.049491	0.0005632
0.5 Fibra PVA - 15 Microsilice	2	38.27653	0.0017654
1.0 Fibra PVA - 5 Microsilice	2	43.179742	0.0006648
1.0 Fibra PVA - 10 Microsilice	2	73.664831	5.742E-06
1.0 Fibra PVA - 15 Microsilice	2	58.762318	4.582E-05
1.5 Fibra PVA - 5 Microsilice	2	12.79615	0.5348596
1.5 Fibra PVA - 10 Microsilice	2	20.281075	0.1095349
1.5 Fibra PVA - 15 Microsilice	2	21.864584	0.0749878
Sig.			1.000

Se observa que el concreto con una adición de 10% de MSC y 1.0% de fibra PVA mostro el valor más alto de diferencia muestral con respecto a la resistencia a la compresión, eso significa que estos porcentajes fueron los más efectivos para influencia significativamente 1 a aumentar la resistencia a la compresión. Como se puede observar la diferencia muestral con respecto a la muestra patrón en todas las adiciones es positiva significa que todos 51 los

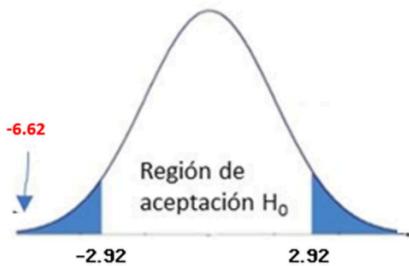
porcentajes de adición aumentaron la resistencia a la compresión sin embargo no fueron tan efectivos como la adición del 10% de microsilice y 1.0% de fibra PVA.

Continuando la comprobación de la hipótesis se llevó a cabo utilizando la prueba T de Student, la cual permitió comparar dos poblaciones. Esta prueba fue aplicada a las propiedades de resistencia a la flexión, ya que dicha característica es determinante en el comportamiento funcional del Concreto estándar.

**Tabla 26.**  
Resultados de datos para T de student – Resistencia a la Flexión

Descripción	Concreto Estándar $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (Muestra Patrón)	Concreto Estándar $F'c=210 \text{ kg/cm}^2$ (10% Microsilice - 1.0% Fibra PVA)
Número de datos (n)	3	3
Media aritmética ( $\bar{x}$ )	32.33	46.67
Varianza (S)	14.33	6.58
Varianza agrupada ( $S_c$ )	10.46	
Grados de libertad	2	
Estadístico T	-6.62	
$\alpha$	0.05	
t crítico	2.92	
p-valor	0.022	

**Figura 16.**  
T de student – Resistencia a la Flexión



En la **Figura 16** observamos en el gráfico que el valor estadístico T (-6.62), se encuentra <sup>27</sup> en la zona de rechazo, es decir se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo cual significa que la adición del microsílice y fibra de alcohol polivinílico influencia de <sup>1</sup> manera significativa en la resistencia a la flexión.

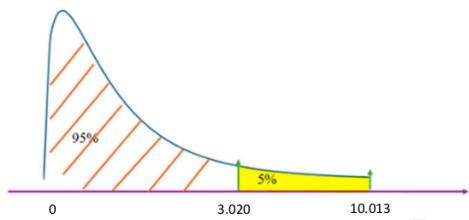
Continuando con la comprobación de la hipótesis se llevó a cabo utilizando el análisis ANOVA para aceptar o rechazar la hipótesis nula con respecto a la trabajabilidad (Propiedad física).

**Tabla 27.**  
Análisis de varianza de la trabajabilidad con  $F' c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  sin y con Adición del 5%, 10% y 15% <sup>37</sup> del peso del cemento con Microsilice y del 0.5%, 1% y 1.5% del Volumen del concreto con Fibra PVA

<sup>33</sup> Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	<sup>34</sup> F	Probabilidad para F	Valor crítico
Entre grupos	7.66	9	0.851111111	10.0130719	0.000627463	3.020382947
Dentro de los grupos	0.85	10	0.085			
Total	8.51	19				

El análisis del estadístico F reveló un valor de 10.0130719, el cual excedió considerablemente el valor crítico de F de 3.020382947, como se puede observar en la Figura <sup>35</sup> 17, indicando la existencia de diferencias significativas entre los distintos grupos. De manera adicional, la probabilidad asociada (valor P = 0.000627463) resultó notablemente <sup>36</sup> inferior al <sup>37</sup> nivel de significancia convencional de 0.05, lo que confirma y respalda la presencia de diferencias estadísticamente relevantes entre los grupos evaluados.

**Figura 17.**  
Valor crítico – Trabajabilidad (Slump)



En conclusión, al obtener un F-estadístico superior al valor crítico **17** y una probabilidad menor al nivel de significancia de 0.05, se procedió a rechazar la hipótesis nula. Estos resultados demostraron que la incorporación de microsilice y fibra PVA, en los distintos porcentajes evaluados, tuvo una influencia significativa sobre la trabajabilidad (propiedad física del concreto), respaldando la hipótesis planteada en la investigación

**50**  
Continuando con la comprobación de la hipótesis se llevó a cabo utilizando el análisis ANOVA para aceptar o rechazar de la hipótesis nula con respecto a la temperatura (Propiedad física).

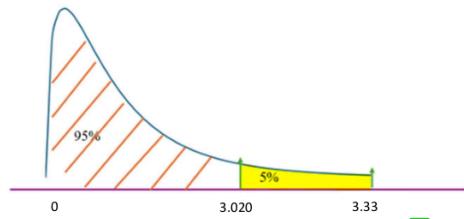
**Tabla 28.**  
Análisis de varianza de la temperatura con **37**  $F_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  sin y con Adición del 5%, 10% y 15% del peso del cemento con Microsilice y del 0.5%, 1% y 1.5% del Volumen del concreto con Fibra PVA

<b>36</b> Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	<b>Promedio de los cuadrados</b>		F	Probabilidad para F	Valor critico
			F	Probabilidad para F			
Entre grupos	9.61	9	1.06777778	3.331599931	0.037232646	3.020382947	
Dentro de los grupos	3.205	10	0.3205				
Total	12.815	19					

El análisis del estadístico F reveló un valor de 3.331599931, el cual excedió considerablemente el valor crítico de F de 3.020382947, como se puede observar en la Figura

18, indicando la existencia de diferencias significativas entre los distintos grupos. De manera adicional, la probabilidad asociada (valor  $P = 0.037232646$ ) resultó notablemente **inferior al nivel de significancia convencional de 0.05, lo que** confirma y respalda la presencia de diferencias estadísticamente relevantes entre los grupos evaluados.

**Figura 18.**  
*Valor critico – Temperatura*



En conclusión, al obtener un F-estadístico superior al valor critico **y una probabilidad menor al nivel de significancia de 0.05, se procedió a rechazar la hipótesis nula.** Estos resultados demostraron que la incorporación de microsilice y fibra PVA, en los distintos porcentajes evaluados, tuvo una influencia significativa sobre la temperatura (propiedad física del concreto), respaldando la hipótesis planteada en la investigación

#### 4.2. Discusión

23 Al aplicar la prueba de hipótesis utilizando la herramienta **t de student**, se determinó que la modificación del concreto estándar mediante la incorporación de microsilice y fibra de alcohol polivinílico genera una variación significativa en sus propiedades fisico-mecánicas, esto se debe a que existe un 95% de confianza en que la **resistencia a la compresión se incrementa.** En consecuencia, **se rechazó la hipótesis nula y se aceptó la hipótesis alternativa,** concluyendo que la adición del microsilice en 10% del peso del cemento y fibra PVAo en 1%

7  
del volumen del concreto produce cambios significativos en las propiedades físmico-mecánicas  
del concreto estándar.

Taher et al. (2021), reemplazo el cemento con microsilice en un porcentaje de este de 0%, 3%, 4.5% 6% y 7.5% 10% 15 y 20% obteniendo 29 una resistencia a la compresión a los 28 días de 48.2 MPa, 40.6 MPa, 41.7 MPa, 50.0 MPa, 49.3 MPa, 41.2 MPa, 36.4 MPa, 31.4 MPa respectivamente, evidenciando que 15 la resistencia a la compresión más alta se obtuvo entre el rango de 6% y 7.5% y que al empezar adicionar un porcentaje mayor al 10% la resistencia a la compresión empieza a disminuir, en nuestro caso se realizó la adición del microsilice en porcentajes de 0%, 5%, 10% y 15% 1 del peso del cemento en conjunto con la adición de la fibra de alcohol polivinílico obteniendo una mayor resistencia a la compresión de 224.25 kg/cm<sup>2</sup>, 267.43 kg/cm<sup>2</sup> , 297.92 kg/cm<sup>2</sup> y 283.01 kg/cm<sup>2</sup> observamos que cuando se adiciona microsilice en un 10% del del peso del cemento aumenta en un 32.85% con respecto a la muestra sin adición y que al superar el porcentaje del 10% la resistencia a la compresión tiende a disminuir.

Por otro lado, Reveco, J. (2021), en sus estudios realizados comparó el comportamiento del hormigón con árido grueso reforzado con fibra de alcohol polivinílico en 0%, 0.62% y 1.23%, obteniendo que al aumentar el contenido de fibra de alcohol polivinílico presentan un ligero aumento en su capacidad de deformación hasta cierto porcentaje ya que al seguir adicionando este material hace que su capacidad de compresión decaiga. Este comportamiento se reflejó en los resultados los cuales fueron inicialmente con agregado grueso y adición de 0.62% de fibra PVA obteniendo 14 una resistencia a la compresión de 340.59 kg/cm<sup>2</sup>, con adición de 1.23% de fibra PVA se obtiene una resistencia a la compresión de 313.05 kg/cm<sup>2</sup> a comparación de la muestra patrón que es 0% de fibra PVA la cual se alcanzó 1 una resistencia a la compresión de 340.59 kg/cm<sup>2</sup>; se continua con la arena gruesa y adición de la fibra PVA

comenzando con un porcentaje de 0.62% fibra PVA en la cual se alcanzó una resistencia a la compresión de 246.77 kg/cm<sup>2</sup>, al añadir 1.23% de fibra PVA se alcanzó una resistencia a la compresión de 238.61 kg/cm<sup>2</sup>, a comparación de la muestra patrón con 0% de fibra PVA en la cual se alcanzó 232.49 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia a la compresión; finalmente con arena fina comenzando con un porcentaje de 0.62% fibra PVA en la cual se alcanzó una resistencia a la compresión de 196.8 kg/cm<sup>2</sup>, al añadir 1.23% de fibra PVA se alcanzó una resistencia a la compresión de 192.72 kg/cm<sup>2</sup>, a comparación de la muestra patrón con 0% de fibra PVA en la cual se alcanzó 184.56 kg/cm<sup>2</sup> en la resistencia a la compresión, observando que la resistencia a la compresión aumente conjuntamente con la adición de la fibra de PVA sin embargo disminuye desde un punto de inflexión dado que al adicionar mayor cantidad de fibra PVA que un porcentaje mayor al 0.62% del volumen del concreto la resistencia a la compresión tiende a disminuir después de 28 días de curado. En la presente investigación se implementó la adición de fibra de alcohol polivinílico en porcentajes de 0%, 0.5%, 1.0% y 1.5% del volumen del concreto conjuntamente con el microsilice en 0%, 5%, 10% y 15% del peso del cemento con el propósito de evaluar el comportamiento de las muestras, en nuestro caso se obtuvieron resistencias promedio de 224.25 kg/cm<sup>2</sup> (0% MS – 0% FPVA), 252.37 kg/cm<sup>2</sup> (5% MS – 0.5% FPVA), 267.43 kg/cm<sup>2</sup> (5% MS – 1.0% FPVA), 237.05 kg/cm<sup>2</sup> (5% MS – 1.5% FPVA), 268.30 kg/cm<sup>2</sup> (10% MS – 0.5% FPVA), 297.92 kg/cm<sup>2</sup> (10% MS – 1.0% FPVA), 244.53 kg/cm<sup>2</sup> (10% MS – 1.5% FPVA), 262.53 kg/cm<sup>2</sup> (15% MS – 0.5% FPVA), 283.01 kg/cm<sup>2</sup> (15% MS – 1.0% FPVA) y 246.12 kg/cm<sup>2</sup> (15% MS – 1.5% FPVA), se evidenció una mejora en la resistencia a la compresión, alcanzando un incremento hasta con un 10% de adición de fibra de alcohol polivinílico. La diferencia radica en que, en nuestro estudio, la fibra PVA se consideró como un porcentaje del volumen del concreto, mientras que en el estudio comparado se evaluó en función del peso del cemento. Asimismo, dicho estudio indica que se desarrolló ensayos de módulo de rotura en vigas prismáticas con 0% de fibra PVA y un 1.23% de fibra

PVA, en las cuales se obtuvieron una primera capacidad de carga máxima de aproximadamente 3500 kgf y 2800 kgf respectivamente y una capacidad máxima de 4000 kgf y 3500 kgf. En nuestra investigación, logramos obtener una resistencia a la flexión de 3398.33 kgf al adicionar fibra de alcohol polivinílico al 1% del volumen del concreto y 2323.33 kgf sin adiciona fibra de alcohol polivinílico. La diferencia entre nuestros resultados y los reportados por el autor se atribuye a la forma en que se incorporó la fibra PVA, ya sea **en relación al peso del cemento** o **al volumen del concreto**.

Fernandez Chuman & Ramos Landauro (2020), obtuvo que **la resistencia a la compresión del concreto** estándar varía según **el porcentaje de adición de microsilice** **y la relación agua/cemento** que utilizó **lo cual influye directamente** en dicha propiedad. Su diseño estuvo basado en la adición de microsilice en 0%, 5%, 7.5% y 10% del peso del cemento y con relación a/c de 0.30, 0.35 y 0.40. Los resultados demostraron que las probetas con adición de microsilice al 10% del **peso del cemento** **y relación a/c 0.30** **incrementó su resistencia a la compresión en un** 14.22%; al adicionar microsilice en un 7.5% del **peso del cemento** **y con relación a/c 0.35** incrementó su resistencia en un 4.97% y al adicionar microsilice en un 7.5% del **peso del cemento** **y con relación a/c 0.40** incrementó su resistencia en un 11.60%; todas estas con respecto a la adición del microsilice en un 0%. **Se observó que a medida que aumenta el porcentaje de adición del microsilice aumenta la resistencia a la compresión.** En comparación con nuestro estudio, **se obtuvo un aumento de la resistencia a la compresión** del 29.00% **respecto a nuestra muestra patrón** ( $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ) cuando **se adicionó** microsilice en un 10% **con respecto al peso del cemento** **y adición de fibra de alcohol polivinílico** en un 1% del volumen del concreto. Observando una mayor ganancia de la resistencia a la compresión, se concuerda **con el autor** que a mayor adición de porcentaje de microsilice **con respecto al peso del cemento** mayor es la resistencia a la compresión.

**CAPITULO V:**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

Bach. Martínez Rodríguez, Ricardo André



Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

## 1 5. CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

5.1.1 Luego de llevar a cabo esta investigación, se confirma la hipótesis: "La adición de MSC en 5%, 10% y 15% del peso del cemento y la fibra PVA en 0.5%, 1% y 1.5% del volumen del concreto influencian significativamente en las propiedades físico - mecánicas del concretó estándar en comparación con el concretó sin MSC ni fibra PVA, debido a las características físicas y químicas de estos."

5.1.2 Al definir las propiedades de la MSC y fibra de PVA se concluyó lo siguiente:

Al definir las propiedades más importantes del MSC y de la fibra de alcohol polivinílico (PVA), se establece que el MSC (SikaFume) presenta un contenido de 92.26% de SiO<sub>2</sub>, un tamaño de partícula menor a 1 μm ( $\approx 0.1 \mu\text{m}$ ) y una densidad de 2,250 kg/m<sup>3</sup>.

Asimismo, al definir las propiedades técnicas de la fibra de alcohol polivinílico (Ruyuan® Fibre), se identifican longitudes entre 3 y 22 mm, un diámetro nominal de 22 μm, una tenacidad de 28.0 CN/Tex (2,745.96 Mpa), una elongación a la rotura del 25%, su densidad es de 0.91 g/mL, el módulo de Young es de 3.5 kN/mm<sup>2</sup>.

5.1.3 Al realizar la obtención de las propiedades de los materiales relacionados al concreto estándar mostraron comportamientos adecuados dentro de los parámetros normativos nacionales (NTP) en cuanto a granulometría, peso específico, absorción y contenido de humedad. Considerando esto se presentó el peso específico del agregado fino fue de 2.78 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que del agregado grueso presentó 2.65 gr/cm<sup>3</sup>. Con respecto a la absorción, el agregado fino se obtuvo un 1.72% y del agregado grueso un 0.44%, esta característica fue clave para hallar el contenido de agua que los agregados podrían retener afectando así la proporción de agua en la mezcla del concreto. En cuanto al contenido de humedad fue 0.47% en el agregado fino y 0.31% en el agregado grueso, este resultado señala que el agregado fino contuvo mucho más humedad, por ende se consideró al calibrar las proporciones de agua en la

mezcla de concreto para contrarrestar problemas en la trabajabilidad y durabilidad. El módulo de fineza del agregado fino fue de 2.81, presentó una buena distribución de partículas, permitiendo una mezcla densa y trabajable. Asimismo, el agregado grueso, presentó un tamaño nominal de 3/4" adecuado para estructuras que requieren un concreto robusto. Finalmente, los pesos unitarios sueltos y compactados se obtuvieron como 1604.47 kg/cm<sup>3</sup> y 1791.63 kg/cm<sup>3</sup> respectivamente en el agregado fino y 1402.58 y 1591.52 en el agregado grueso respectivamente, siendo estos valores cruciales para el diseño de mezcla, ya que influían en la densidad y estabilidad del concreto.

5.1.4 Al realizar la formulación de la relación A/C, para un concreto estándar con una resistencia de 210 kg/cm<sup>2</sup>, se concluyó lo siguiente:

Mediante el diseño de mezcla basado en el método del ACI 211 y ensayos de laboratorio, se estableció que la relación agua/cemento óptimo para alcanzar una resistencia característica de 210 kg/cm<sup>2</sup> fue de 0.5584, mientras que la relación a/c efectiva, considerando la absorción y humedad de los agregados, fue de 0.5889. Estos valores permitieron obtener un concreto de consistencia plástica, con un slump promedio de 3.2", lo que aseguró buena trabajabilidad y cohesión. Esta proporción balanceó adecuadamente la hidratación del cemento y la manejabilidad en estado fresco. El cumplimiento de estos parámetros confirmó que se logró una mezcla técnicamente eficiente, compatible con las condiciones climáticas de Nuevo Chimbote.

5.1.5 Al determinar las propiedades físico – mecánicas del concreto estándar mediante la adición del MSC al 5%, 10% y 15% del peso del cemento y de la fibra de alcohol polivinílico al 0.5%, 1.0% y 1.5% del volumen del concreto se concluyó lo siguiente:

Con respecto a la resistencia a la compresión y la trabajabilidad, de la muestra patrón se obtuvo un slump de 3.20" y un F'c max = 231.38 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días, de la combinación con 0.5% de fibra PVA y 5% de MSC se obtuvo que el slump aumentó en un 31.25% (4.20")

6 y la resistencia a la compresión a los 28 días aumento en un 9.78% (254.02 kg/cm<sup>2</sup>), de la combinación con 0.5% de fibra PVA y 10% de MSC se obtuvo que el slump aumento en un 37.5% (4.40") y la resistencia a la compresión a los 28 días aumento en un 16.88% (270.44 kg/cm<sup>2</sup>), de la combinación con 0.5% de fibra PVA y 15% de MSC se obtuvo que el slump aumento en un 50.00% (4.80") y la resistencia a la compresión a la edad de 28 días aumento hasta un 14.61% (265.18 kg/cm<sup>2</sup>), de la combinación con 1.0% de fibra PVA y 5% de MSC se obtuvo que el slump aumento en un 15.62% (3.70") y la resistencia a la compresión a los 28 días aumento en un 17.43% (271.71 kg/cm<sup>2</sup>), de la combinación con 1.0% de fibra PVA y 10% de MSC se obtuvo que el slump aumento en un 21.87% (3.90") y la resistencia a la compresión a los 28 días aumento en un 29.00% (298.48 kg/cm<sup>2</sup>), de la combinación con 1.0% de fibra PVA y 15% de MSC se obtuvo que el slump aumento en un 31.25% (4.20") y la resistencia a la compresión a los 28 días aumento en un 22.49% (283.41 kg/cm<sup>2</sup>), de la combinación con 1.5% de fibra PVA y 5% de MSC se obtuvo que el slump disminuyó en un 9.37% (2.90") y la resistencia a la compresión a los 28 días aumento en un 4.91% (242.74 kg/cm<sup>2</sup>), de la combinación con 1.5% de fibra PVA y 10% de MSC se obtuvo que el slump disminuyó en un 4.69% (3.05") y la resistencia a la compresión a los 28 días aumento en un 8.86% (251.88 kg/cm<sup>2</sup>), de la combinación con 1.5% de fibra PVA y 15% de MSC se obtuvo que el slump disminuyó en un 1.56% (3.15") y la resistencia a la compresión a los 28 días aumento en un 7.48% (248.69 kg/cm<sup>2</sup>), en términos generales, todas las combinaciones evaluadas superaron 1 la resistencia a compresión de la muestra patrón evidenciando la mejoras significativas en el concreto y con respecto al Slump se observa un comportamiento proporcional al aumento del MSC e inversamente proporcional al aumento de la fibra de alcohol polivinílico.

1 Con respecto a la temperatura del concreto varió con respecto a la adición de fibras de alcohol polivinílico, el cual mostraba una tendencia variable. No obstante, con respecto a la incorporación de MSC, se evidencia una tendencia inicial a la reducción de la temperatura de

la mezcla conforme se incrementa su contenido hasta aproximadamente un 10 % del peso del cemento (Punto de inflexión). Sin embargo, al superar dicho porcentaje, la temperatura comenzó a incrementarse, lo que afectaría <sup>1</sup> negativamente las propiedades del concreto, especialmente en estado fresco, al acelerar la hidratación y comprometer su trabajabilidad y durabilidad.

<sup>1</sup> El peso unitario del concreto en estado fresco mostró una leve disminución progresiva mientras se incrementaba el contenido de fibra de alcohol polivinílico y se obtuvo un aumento progresivo a medida que se incrementó el contenido de la MSC incorporado en la mezcla. Para un concreto con resistencia optimizada de  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se alcanzó una densidad de  $2330.14 \text{ kg/m}^3$  con una adición del 10 % de MSC y 1% de fibra PVA, evidenciando una mejoría del 2.15 % en comparación con la mezcla patrón.

<sup>1</sup> El porcentaje de vacíos del concreto en estado fresco muestra un aumento progresivo a medida que aumenta la cantidad de FPVA <sup>81</sup> y se obtiene un decrecimiento gradual mientras que se aumenta la cantidad de la MSC incorporado en la mezcla. Para un concreto con resistencia optimizada de  $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , se alcanzó una densidad de 0.827% con una adición del 10 % de MSC y 1% de fibra PVA.

5.1.6 Se valoró la influencia de la adición óptima del MSC y de FPVA, por lo cual se realizó una muestra de 30 probetas cilíndricas y 6 probetas prismáticas con adición del porcentaje óptimo de MSC al 10% del peso del cemento y de fibra PVA al 1% del volumen del concreto, evaluando estadísticamente se probó con un nivel de confianza de 97.82% que se obtendrá un promedio de resistencia a la compresión de  $326.44 \text{ kg/cm}^2$  y que con un nivel de <sup>9</sup> 99.71% que se obtendrá un promedio con <sup>5</sup> respecto a la resistencia a la flexión (módulo de rotura) de  $46.67 \text{ kg/cm}^2$ .

## **5.2. RECOMENDACIONES**

5.2.1. Se recomienda a futuros investigadores realizar otras investigaciones con microsilice y fibra de alcohol polivinílico con diferentes porcentajes de adición o sustitución para evaluar si en otras características mecánicas y físicas del concreto, entre ellas la resistencia a la tensión y tracción, observación de fisuras que influencian de forma significativa y positiva para el concretó estándar.

5.2.2. Se recomienda a futuros investigadores seleccionar fibras con propiedades adecuadas como una tenacidad mínima de 2,745 MPa, un módulo de Young de 3.5 KN/mm<sup>2</sup> y alta elongación a la rotura con un mínimo de 25%.

Con respecto al microsilice debe presentar una finura ultramicroscópica ( $< 1 \mu\text{m}$ ) y un contenido superior al 85% de sílice amorfa, además se debe de controlar un correcto almacenamiento, manipulación y mezcla para garantizar la eficiencia de estos aditivos en obra.

5.2.3. Se sugiere que los futuros tesis, durante el proceso de examinar y evaluar mediante ensayos a los agregados, se ajusten estricta y necesariamente a los lineamientos de la Norma Técnica Peruana (NTP), siguiendo los lineamientos, procedimientos y protocolos establecidos para cada ensayo, garantizando así la confiabilidad y validez de los datos conseguidos.

5.2.4. Se recomienda a las empresas constructoras y los responsables de obras que demanden concreto de alta resistencia, adoptar la dosificación indicada para la correcta elaboración y mezclado del concreto:

---

Bach. Martínez Rodríguez, Ricardo André



Bach. Zapata Huertas, Christian Celestino

<b>Peso húmedo (Kg):</b>			
<b>Cemento</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Aqua(lt/kg)</b>
1	2.12	2.7	0.5889
<b>Volumen (pie3):</b>			
<b>Cemento</b>	<b>Agregado fino</b>	<b>Agregado grueso</b>	<b>Aqua (lt/bl)</b>
1	1.98	2.88	25

Relación A/C = 0.59

5.2.5. Se sugiere a futuros investigadores incrementar el número de repeticiones por cada ensayo para el concreto estándar, con el fin de mejorar la representatividad estadística de los resultados. Un mayor tamaño de muestra permitirá reducir el margen de error, aumentar la confiabilidad de los intervalos de confianza y detectar con mayor precisión las variaciones generadas para las distintas proporciones porcentuales de adición de MSC y fibra de alcohol polivinílico, asegurando así conclusiones más exactas y extrapolables a condiciones reales de aplicación

5.2.6. Se recomienda a la comunidad ingenieril efectuar ensayos de resistencia a la compresión y a la flexión utilizando el contenido óptimo de microsilice y fibra de alcohol polivinílico determinado en la presente investigación, pero evaluando edades superiores a 28 días (56, 90 y 180 días). Esto permitirá analizar el desarrollo resistente a largo plazo y evaluar de manera más precisa la durabilidad del concreto, considerando fenómenos como la hidratación secundaria, la densificación de la matriz cementicia y la evolución de microestructuras que influyen en su comportamiento frente a cargas y condiciones ambientales prolongadas



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	4%
2	repositorio.uns.edu.pe	3%
3	Submitted to Universidad Cesar Vallejo	1 %
4	Submitted to Universidad Andina del Cusco	1 %
5	repositorio.unap.edu.pe	1 %
6	repositorio.unc.edu.pe	1 %
7	repositorio.uss.edu.pe	1 %
8	Submitted to Universidad Privada del Norte	1 %
9	alicia.concytec.gob.pe	<1 %
10	www.coursehero.com	<1 %
11	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1 %
12	es.slideshare.net	<1 %

Fuente de Internet

Fuente de Internet

Trabajo del estudiante

Trabajo del estudiante

Fuente de Internet

Fuente de Internet

Trabajo del estudiante

Fuente de Internet

Fuente de Internet

Trabajo del estudiante

Fuente de Internet

---

13	repository.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
15	Submitted to Universidad Ricardo Palma Trabajo del estudiante	<1 %
16	agritech.tnau.ac.in Fuente de Internet	<1 %
17	cia.uagraria.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
18	per.sika.com Fuente de Internet	<1 %
19	Submitted to Universidad Nacional Intercultural Fabiola Salazar Leguía de Bagua Trabajo del estudiante	<1 %
20	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
21	docplayer.es Fuente de Internet	<1 %
22	pirhua.udep.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	issuu.com Fuente de Internet	<1 %
24	patents.google.com Fuente de Internet	<1 %
25	repository.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
26	apirepository.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	repository.uta.edu.ec	

---

<1 %

28 [www.mederelectronic.ru](http://www.mederelectronic.ru) <1 %  
Fuente de Internet

29 [www.researchgate.net](http://www.researchgate.net) <1 %  
Fuente de Internet

30 [tesis.unap.edu.pe](http://tesis.unap.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

31 [www.pedagogicomadrededios.edu.pe](http://www.pedagogicomadrededios.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

32 Submitted to Universidad Nacional de Trujillo <1 %  
Trabajo del estudiante

33 Submitted to Universidad Nacional de Tumbes <1 %  
Trabajo del estudiante

34 [www.academia.edu](http://www.academia.edu) <1 %  
Fuente de Internet

35 [www.once.es](http://www.once.es) <1 %  
Fuente de Internet

36 Submitted to ITESM: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey <1 %  
Trabajo del estudiante

37 Submitted to Universidad Católica de Santa María <1 %  
Trabajo del estudiante

38 [documentop.com](http://documentop.com) <1 %  
Fuente de Internet

39 [pdfcookie.com](http://pdfcookie.com) <1 %  
Fuente de Internet

40 [repositorio.uancv.edu.pe](http://repositorio.uancv.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet

41	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1 %
42	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1 %
43	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
44	zaguan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %
45	prezi.com Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
47	idoc.tips Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.ulvr.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
49	www.mdpi.com Fuente de Internet	<1 %
50	core.ac.uk Fuente de Internet	<1 %
51	eprints.uanl.mx Fuente de Internet	<1 %
52	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
53	Submitted to Universitat Politècnica de València Trabajo del estudiante	<1 %
54	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
55	Submitted to undac Trabajo del estudiante	<1 %

		<1 %
56	<a href="http://www.geniolandia.com">www.geniolandia.com</a> Fuente de Internet	<1 %
57	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
58	Submitted to Universidad Pontificia Bolivariana Trabajo del estudiante	<1 %
59	Submitted to Universidad Privada Antenor Orrego Trabajo del estudiante	<1 %
60	<a href="http://dokumen.pub">dokumen.pub</a> Fuente de Internet	<1 %
61	<a href="http://microbiologynote.com">microbiologynote.com</a> Fuente de Internet	<1 %
62	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
63	<a href="http://rabida.uhu.es">rabida.uhu.es</a> Fuente de Internet	<1 %
64	<a href="http://repositorio.ucss.edu.pe">repositorio.ucss.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
65	<a href="http://repositorio.une.edu.pe">repositorio.une.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
66	<a href="http://repositorio.unj.edu.pe">repositorio.unj.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
67	<a href="http://www.derecho.uchile.cl">www.derecho.uchile.cl</a> Fuente de Internet	<1 %
68	<a href="http://www.repositorio.unasam.edu.pe">www.repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %

69	cotslab.com Fuente de Internet	<1 %
70	www.comsoc.df.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
71	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
72	www2.deloitte.com Fuente de Internet	<1 %
73	civilmas.net Fuente de Internet	<1 %
74	repositorio.ujcm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
75	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
76	sedici.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
77	silo.tips Fuente de Internet	<1 %
78	webpages.ull.es Fuente de Internet	<1 %
79	www.pemex.com.mx Fuente de Internet	<1 %
80	www.rioware.com Fuente de Internet	<1 %
81	Harrison de la Rosa Ramírez. "Desarrollo de formulaciones de ácido poliláctico (PLA) basadas en la incorporación de derivados de la colofonia", Universitat Politecnica de Valencia, 2023 Publicación	<1 %

- 82 Juan Cosa Martínez. "Utilización de mezclas de residuos para la obtención de cementos de activación alcalina: aplicación en morteros y suelos estabilizados", Universitat Politecnica de Valencia, 2022 <1 %  
Publicación
- 
- 83 R. M. De Gutiérrez, S. Delvasto, R. Talero. "A new pozzolan for high performance cementitious materials", Materiales de Construcción, 2000 <1 %  
Publicación
- 
- 84 [baixardoc.com](http://baixardoc.com) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 85 [exactitudeconsultancy.com](http://exactitudeconsultancy.com) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 86 [gaceta.cicese.mx](http://gaceta.cicese.mx) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 87 [repositorio.unan.edu.ni](http://repositorio.unan.edu.ni) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 88 [repositorio.unasam.edu.pe](http://repositorio.unasam.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 89 [repositorio.upla.edu.pe](http://repositorio.upla.edu.pe) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 90 [rimcafd.com](http://rimcafd.com) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 91 [vsip.info](http://vsip.info) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 92 [www.iirsa.org](http://www.iirsa.org) <1 %  
Fuente de Internet
- 
- 93 A. Rondon, S. Guzey. "Determination of localized stresses in the shell above anchor <1 %

bolt chairs attachments of anchored storage tanks", *Thin-Walled Structures*, 2016

Publicación

94

M. M. Alonso, M. Palacios, F. Puertas, A. G. De la Torre, M. A. G. Aranda. "Effect of polycarboxylate admixture structure on cement paste rheology", *Materiales de Construcción*, 2007

<1 %

Publicación

---

Excluir citas

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado