

# Compressive Strength of Concrete $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ replacing fine aggregate with quartz sand in 10%, 15% and 20%

Luz Clarita Tello Perez, Bach.<sup>1</sup>; and Kely Elizabeth Nuñez Vasquez, Ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, [N00035275@upn.pe](mailto:N00035275@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, [kely.nunez@upn.edu.pe](mailto:kely.nunez@upn.edu.pe)

**Abstract**– The objective of this research was to determine the variation in the compressive strength of concrete with  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$  when adding aloe vera gel in proportions of 10% and 15% with respect to the mixing water. An experimental design was used with 45 test tubes distributed in three groups, the first group corresponds to the standard sample, the second group to the samples with the addition of 10% and the third group to the samples with the addition of 15%, evaluated after 7, 14 and 28 days of curing. The aggregates used were obtained from the Bazán quarry, which complied with current technical regulations. The design of the mixtures was carried out using the ACI 211 method. Our study has a quantitative approach and is experimental, the results obtained were a compressive strength of concrete without addition of  $241.41 \text{ kg/cm}^2$  at 28 days, while with 10% aloe vera gel increased to  $296.61 \text{ kg/cm}^2$  (22.89% more) and with 15% it reached  $268.88 \text{ kg/cm}^2$  (11.38% more). According to the results, the hypothesis proposed for the 10% addition is partially approved, since the expected 20% increase was exceeded, while for the 15% this value was not reached. It was concluded that 10% addition is the optimal percentage to maximize compressive strength, combining effectiveness and economic viability, thus supporting the use of aloe vera as a promising natural additive to improve concrete properties in a sustainable manner.

**Keywords**-- Resistance, Aloe vera, concrete, additives.

# Resistencia a la compresión del concreto $f'_c = 210$ kg/cm<sup>2</sup> sustituyendo agregado fino por arena cuarzosa en 10%, 15% y 20%

Luz Clarita Tello Perez, Bach.<sup>1</sup>; and Kely Elizabeth Nuñez Vasquez, Ing.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca, Perú, [N00035275@upn.pe](mailto:N00035275@upn.pe)

<sup>2</sup> Universidad Privada del Norte (UPN), Cajamarca – Perú, [kely.nunez@upn.edu.pe](mailto:kely.nunez@upn.edu.pe)

**Resumen**– El estudio dispuso como objetivo general determinar la resistencia a la compresión del concreto  $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup> con sustitución de arena de cuarzo por agregado fino al 10%, 15% y 20%; por lo cual, la investigación es del tipo aplicada con un alcance correlacional y un diseño experimental, teniendo consignado una muestra de 48 probetas que están agrupadas de la siguiente manera: 12 testigos de concreto patrón y 36 testigos de concreto con arena de cuarzo; así pues, considerando como técnica de recolección a la observación directa y como instrumentos utilizados fueron los protocolos de laboratorio validados por la Universidad Privada del Norte, obteniendo resultados de resistencia a los 28 días con arena de cuarzo en porcentajes de 0%, 10%, 15% y 20% se adquirió 254.78 kg/cm<sup>2</sup>, 333.76 kg/cm<sup>2</sup>, 347.78 kg/cm<sup>2</sup> y 355.46 kg/cm<sup>2</sup>; de esta manera, se dedujo que esta materia prima como sustituto del material granular fino aumentó la resistencia mecánica un 31.00%, 36.50% y 39.52% respecto al concreto de control. Por lo tanto, en base a los valores obtenidos se comprueba la hipótesis planteada, puesto que, el concreto con arena de cuarzo en diferentes porcentajes superó de forma significativa el 25% de resistencia.

Palabras clave-- Resistencia a la compresión, sustitución, arena de cuarzo.

## I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad Problemática

En la actualidad, a escala global el recurso más empleado en el rubro constructivo es el concreto, siendo importante conocer su trabajabilidad, durabilidad, versatilidad y resistencia; por lo cual, su alta demanda provoca una explotación excesiva de recursos naturales para su creación. Por lo tanto, se requiere optimizar esta gestión de recursos y enfocarse en las características físicas y mecánicas del concreto, aplicando el uso de nuevos materiales silíceos como la arena de cuarzo para obtener construcciones duraderas y confiables; ya que la resistencia del concreto es punto clave en la vida útil de una estructura [1].

En el transcurso de los últimos años en el campo de la construcción se viene incrementando la utilización de concretos no tradicionales que optimicen las propiedades del concreto, siendo necesario conocer nuevos métodos de diseño con la integración de materias primas silíceas, para la producción de concretos con indicadores de alta calidad; su aplicación está relacionada a conceptos técnicos y económicos [2].

En el Perú, la incorporación de arena de cuarzo como un nuevo material en el concreto, es considerado una solución ambiental sostenible para mitigar la contaminación del medio

ambiente; por lo cual, su composición física y química de este material favorece a la optimización de las propiedades estándar de un concreto normal. Asimismo, la indagación de tecnologías emergentes proporciona un mejor nivel de vida a las personas, que se enfocan en términos tecnológicos y económicos del ámbito de la ingeniería civil [3].

En la ciudad de Cajamarca, se viene acoplando compuestos silíceos en las dosificaciones de materiales para obtener un concreto de calidad; puesto que, el uso de este recurso mejora las cualidades del concreto, siendo una solución viable para la creación de nuevas tecnologías que estudian su comportamiento en relación con su resistencia mecánica. Además, en los diseños de mezcla se une correctamente a los criterios para construir estructuras de gran durabilidad que brinden un menor costo para su ejecución [4].

Seguidamente, la tecnología del concreto se encuentra en constante desarrollo, porque su participación de incidencia en la creación de elementos estructurales en el ámbito constructivo es muy elevada; por lo cual, esta demanda genera un análisis importante entre resistencia y costos, siendo beneficioso obtener un concreto de calidad con el uso de materia silícea que brinde una óptima resistencia a comparación de un concreto tradicional. Por lo tanto, la resistencia mecánica del concreto es parte crucial en la construcción de estructuras sólidas que deben estar acorde a lo designado por la normativa peruana [5].

Las propiedades mecánicas como resistencia a la compresión son muy esenciales en la fase constructiva de un elemento estructural; por lo cual, actualmente se busca innovar en la creación de concretos no tradicionales con valores de resistencia significativos sin alterar drásticamente la dosificación, es decir, crear un concreto de calidad con mejores propiedades por un costo similar al de un concreto convencional [6].

El concreto es una mezcla homogénea integrada por cemento, agua, materiales granulares (finos y gruesos), considerado como una roca artificial que posee características físicas y mecánicas. Si embargo, en estado fresco puede adoptar distintas formas debido a su trabajabilidad y en su estado endurecido puede adquirir resistencias adecuadas a una durabilidad útil en el tiempo [7].

El primer componente es el cemento, ya que esta materia prima de partículas finas se obtiene mediante la fragmentación del Clinker y yeso que está presente en el ecosistema; también

se incorpora hasta un 5% de caliza pulverizada según ASTM C150 [7].

Como segundo componente se tiene a los agregados, siendo materiales áridos que están inmersos en la naturaleza; de este modo, está conformado en materiales finos y gruesos que deberán cumplir criterios de calidad acorde con la normatividad vigente [8].

Como tercer componente está el agua, siendo un líquido con cualidades únicas que provoca reacciones cuando se mezcla los demás compuestos mencionados; por lo cual, se recomienda utilizar el agua potable para crear concretos que cumplan parámetros de calidad [7].

Por otro lado, las propiedades del concreto se clasifican en dos periodos: estado fresco y endurecido, teniendo en cuenta que la investigación analiza la resistencia del concreto.

La resistencia a la flexión se define como una medida que verifica la falla de un elemento estructural mediante la incorporación de cargas a una sección transversal y cuantifica la capacidad de soportar cargas sin doblarse; por lo cual, su evaluación se realiza mediante una prueba de flexión de tres puntos, siendo vital para el diseño de elementos estructurales tales como: vigas, losas, columnas, entre otros. Seguido, la resistencia a la tracción es una propiedad que determina la capacidad del concreto al resistir fuerzas que intentan estirarlo; así pues, la resistencia a la compresión del concreto es mucho mayor que la resistencia a la tracción y su análisis se realiza mediante una prueba de tracción directa [7].

Por consiguiente, en la rama de ingeniería civil difieren una serie de resistencias a la compresión, que serán mencionadas a continuación:

En primer lugar, se tiene a la resistencia a la compresión  $f'_c = 175 \text{ kg/cm}^2$ , este concreto se emplea en la construcción debido a la carga baja que soportan los elementos estructurales; se utiliza en la creación de banquetas, aceras y estructuras con una resistencia mínima. En segundo lugar, la resistencia a la compresión  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , este concreto soporta cargas moderadas, siendo sus aplicaciones en ingeniería civil los cimientos, pavimentos rígidos y columnas en viviendas de altura promedio. En tercer lugar, la resistencia a la compresión  $f'_c = 245 \text{ kg/cm}^2$ , este concreto soporta cargas más pesadas, siendo sus aplicaciones los cimientos profundos, estructuras de retención y estructuras de gran altura. En el último lugar, la resistencia a la compresión  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , este concreto de alta resistencia tiene una capacidad de carga muy elevada, siendo su utilización en la creación de columnas, vigas, puentes y estructuras que requieran soportar cargas significativamente pesadas [9].

Por otro parte, la arena de cuarzo se define como un material fino conformado por partículas de material silicio; por lo cual, cuando existe una variedad de otros minerales en su concentración se considera como una arena de cuarzo de calidad estándar, siendo su elemento predominante el dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) en su concentración química. En consecuencia, su alta dureza y resistencia permite ser implementados a diferentes usos en la construcción [10].

En el presente estudio se busca crear nuevos modelos de dosificación de materiales aplicados a la construcción que garanticen una adecuada resistencia alienada a los parámetros establecidos por la norma técnica peruana; así pues, garantizando estructuras resistentes con una larga vida útil.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A) Población y Muestra

Se consideró que la población es idéntica a la muestra, con un método de muestreo no probabilístico a conveniencia del investigador y estuvo conformada por 48 probetas de concreto con una extensión de  $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ ; en la cual, 12 especímenes corresponden a muestras patrón y 36 especímenes son muestras con sustitución de arena cuarzo al 10%, 15% y 20%.

Por lo tanto, se definió la elaboración de 4 probetas de concreto, ya que como mínimo por edad de curado se requieren 3 testigos de acuerdo como la Norma Técnica Peruana 339.183 “Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio”; por lo cual, para obtener datos de confiabilidad se cumple con los parámetros mínimos para analizar los resultados de resistencia.

**TABLA 1**  
ASIGNACIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO

| TIPO                         | CURADO (días) |    |    | PARCIAL   |
|------------------------------|---------------|----|----|-----------|
|                              | 7             | 14 | 28 |           |
| Probetas 0% arena de cuarzo  | 4             | 4  | 4  | 12        |
| Probetas 10% arena de cuarzo | 4             | 4  | 4  | 12        |
| Probetas 15% arena de cuarzo | 4             | 4  | 4  | 12        |
| Probetas 20% arena de cuarzo | 4             | 4  | 4  | 12        |
| <b>TOTAL</b>                 |               |    |    | <b>48</b> |

Fuente:[11]

### B) Materiales, instrumentos y métodos

Como técnica de recolección se consignó la observación directa en cada ensayo realizado a los agregados y arena de cuarzo; por lo cual, se identificó las características de los materiales granulares y la resistencia mecánica del concreto con arena de cuarzo. Asimismo, los instrumentos empleados en el estudio fueron los protocolos instaurados por UPN, teniendo como criterio de validación a cada protocolo certificado por los responsables de laboratorio y a la confiabilidad se consolida al tamaño de la muestra acorde a la NTP.

Seguidamente, para la creación del concreto se tuvo en cuenta los siguientes materiales: agregados, cemento de la categoría I, agua y arena de cuarzo; de esta manera, los instrumentos empleados más relevantes fueron el uso de una serie de tamices para el análisis de granulometría de material granular, horno eléctrico, balanzas digitales, moldes para testigos de  $15 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ , maquina mezcladora, equipo de pruebas de materiales, cono de asentamiento, entre otros.

### C) Procedimiento

1. En la primera etapa, se realizó un mapeo a nivel local para identificar la extracción de los materiales finos y gruesos; así pues, la cantera elegida fue “Bazán Contratistas Generales SRL” ubicada en la ciudad de Cajamarca, siendo primordial que los materiales presenten una accesibilidad cuando se requiera su aplicación en campos de ingeniería.

2. En la segunda etapa, se dispuso la indagación de mercado para adquirir la arena de cuarzo, de esta forma, se gestionó la compra del material granular de la empresa “Minerales Sílice y Grava Perú EIRL” ubicada en la ciudad de Lima, que brinda la distribución de materiales como la arena de cuarzo, granito, entre otros.

3. En la tercera etapa, se desarrolló el análisis de las propiedades físicas de la arena de cuarzo tales como: dureza, peso específico, solubilidad, densidad aparente, tamaño granular, color, entre otros, que fueron validadas por el laboratorio de concreto y geología.

4. En la cuarta etapa, se consiguió determinar las especificaciones físicas de los agregados granulares acorde a los parámetros designados por la Norma Técnica Peruana; de esta manera, a continuación se presenta el procedimiento de cada ensayo realizado.

5. En la quinta etapa, se empleó el diseño ACI 211.1 para la cuantificación de materias primas como cemento, arena de cuarzo, agua y materiales granulares; no obstante, el diseño mezcla de las muestras de control de especifica en el anexo 11, siendo fundamental aplicar el método ACI para garantizar un óptimo desempeño de las estructuras de concreto, que esta alineada con Norma Técnica de Edificación - E.060 “Concreto armado” (Comité ACI 211.1).

6. En la sexta etapa, se procedió a la creación de probetas de concreto con arena de cuarzo al 0%, 10%, 15% y 20%, en concordancia con la dosificación anteriormente encontrada, siendo un factor aceptable una consistencia plástica de 3” - 4”; de tal forma, que pasado las 24 horas de fraguado de los testigos se procede a ingresarlos a una poza de agua a una edad de curado de 7, 14 y 28 días.

7. En la séptima etapa, se realizó la prueba de resistencia a la compresión de las probetas de concreto con arena de cuarzo mediante la máquina de ensayo de materiales; puesto que, los resultados recolectados nos proporcionan conocer la calidad del concreto siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Peruana 339.034.

8. En la octava etapa, se consignó una evaluación comparativa de la resistencia obtenida de las probetas de control y las probetas con arena de cuarzo; seguido, de un análisis estadístico sistematizado por hojas de cálculo referente a cada resistencia.

#### D) Análisis de datos

El procedimiento para analizar la base de datos de cada ensayo realizado a las propiedades físicas de la arena de cuarzo y los agregados; así como, la resistencia del concreto se interpretó de manera estadística por medio de tablas y figuras procesadas en el programa Microsoft Excel, teniendo su

respectivo análisis de varianza (ANOVA) para cada muestra de concreto a los 28 días.

Por lo tanto, cada valor obtenido en los ensayos fue validado por el encargado de laboratorio y el asesor académico de tesis; de tal manera, que su confiabilidad está relacionada con los criterios de la Norma Técnica Peruana.

### III. RESULTADOS

En la tabla 3 se visualiza una síntesis de las especificaciones físicas que fueron realizadas a la arena de cuarzo; del mismo modo, en la tabla 4 se evidencia un sumario referente a las características físicas del agregado.

**TABLA 2**  
RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA ARENA DE CUARZO

| Especificaciones                        | Cuarzo           |
|-----------------------------------------|------------------|
| Dureza (Escala de Mohs)                 | 7.00             |
| Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )   | 2.67             |
| Solubilidad HCL al 40 % en 24 horas (%) | < 1.5            |
| Densidad Aparente                       | 1.5              |
| Tamaño granular (mm)                    | 2.50             |
| Color                                   | Blanco           |
| Brillo                                  | Vitreo           |
| Origen                                  | Rio              |
| Geometría                               | Sub - redondeada |

Fuente:[11]

**TABLA 3**  
RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL MATERIAL FINO Y GRUESO

| Especificaciones          | Material fino           | Material grueso         |
|---------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Contenido de humedad      | 13.07 %                 | 1.41 %                  |
| Peso unitario suelto seco | 1.73 gr/cm <sup>3</sup> | 1.44 gr/cm <sup>3</sup> |
| Peso unitario compactado  | 1.87 gr/cm <sup>3</sup> | 1.59 gr/cm <sup>3</sup> |
| Peso específico de masa   | 2.50 gr/cm <sup>3</sup> | 2.55 gr/cm <sup>3</sup> |
| Porcentaje de absorción   | 13.07 %                 | 1.41 %                  |
| Módulo de finura          | 2.85                    | -                       |
| Tamaño máximo nominal     | -                       | 1"                      |
| Perfil                    |                         | Chancada                |

Fuente:[11]

En la figura 1, se visualiza que la granulometría del material fino está dentro de los límites superior e inferior, ya que se empleó el huso granulométrico ASTM C33; por otro lado, en la figura 2, se plasma la correcta distribución granulométrica del material grueso de acuerdo con el huso 56 que está estipulado por la NTP 400.037: "Especificaciones de agregados para concreto".

**Figura 1**

Distribución granulométrica del material fino

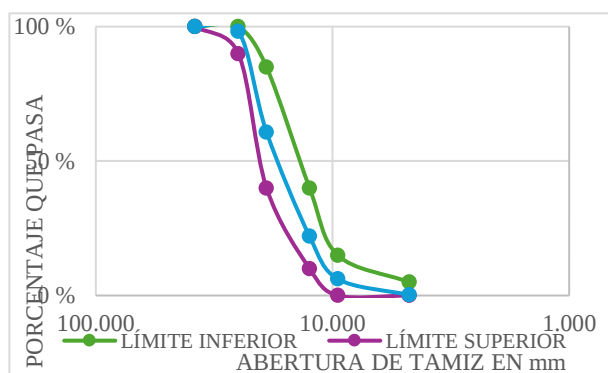


Fig. 2 Distribución granulométrica del material fino

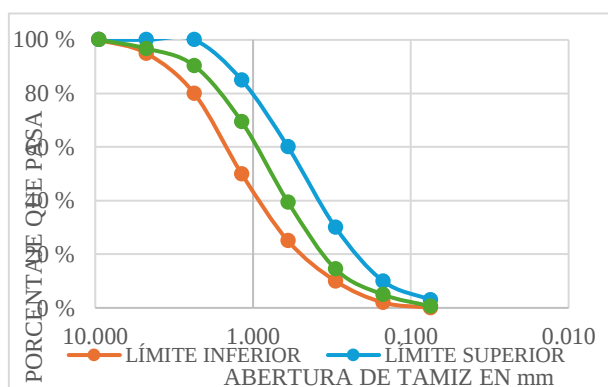


Fig. 3 Distribución granulométrica del material grueso

Seguidamente, para cuantificar los materiales directos para la creación de concreto se utilizó el diseño ACI 211.1 siguiendo su respectivo procedimiento; de esta manera, en la tabla 5 se consigna la cantidad requerida de cada material corregido por humedad para obtener las muestras de concreto equivalente a 1 m<sup>3</sup> de concreto.

TABLA 4  
CUANTIFICACIÓN PARA 1 M<sup>3</sup> DE CONCRETO

| Componentes          | Concret o 0% AC | Concret o 10% AC | Concret o 15% AC | Concret o 20% AC |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Cemento (kg)         | 344.64          | 344.64           | 344.64           | 344.64           |
| Agregado fino (kg)   | 734.96          | 661.46           | 624.72           | 587.97           |
| Agregado grueso (kg) | 1080.32         | 1080.32          | 1080.32          | 1080.32          |
| Arena de cuarzo (kg) | -               | 73.50            | 110.24           | 146.99           |
| Agua (lt)            | 140.06          | 140.06           | 140.06           | 140.06           |

Fuente:[11]

La dosificación empleada por tanda correspondiente a 6 probetas, teniendo en cuenta una adición de desperdicio del 15% se especifican en la tabla 6.

TABLA 5  
CUANTIFICACIÓN PARA 6 PROBETAS DE CONCRETO

| Componentes          | Concret o 0% AC | Concret o 10% AC | Concret o 15% AC | Concret o 20% AC |
|----------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Cemento (kg)         | 11.89           | 11.89            | 11.89            | 11.89            |
| Agregado fino (kg)   | 25.36           | 22.82            | 21.56            | 20.29            |
| Agregado grueso (kg) | 37.27           | 37.27            | 37.27            | 37.27            |
| Arena de cuarzo (kg) | -               | 2.54             | 3.80             | 5.07             |
| Agua (lt)            | 4.83            | 4.83             | 4.83             | 4.83             |

En la tabla 7 y 8, se detalla la resistencia del concreto con arena de cuarzo a los 7 días de curado; en la cual, la sustitución al 20% obtuvo la máxima resistencia de 279.74 kg/cm<sup>2</sup> y las muestras restantes cumplieron con el 70% de resistencia mínima de diseño ( $f'_c = 210$  kg/cm<sup>2</sup>).

TABLA 6  
RESISTENCIA CON ARENA DE CUARZO AL 0% Y 10% A LOS 7 DÍAS

| Ítem de muestra | Edad de curado | Carga máxima (kg) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|----------------|-------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|
| M1              | 7 DÍAS         | 40999.00          | 229.55                                         | 231.44                         |
| M2              |                | 42551.00          | 238.87                                         |                                |
| M3              |                | 39549.00          | 221.43                                         |                                |
| M4              |                | 42356.00          | 235.90                                         |                                |
| 10% AC - M1     |                | 43344.00          | 243.97                                         | 249.60                         |
| 10% AC - M2     |                | 44709.00          | 252.33                                         |                                |
| 10% AC - M3     |                | 45173.00          | 254.95                                         |                                |
| 10% AC - M4     |                | 43911.00          | 247.17                                         |                                |

TABLA 7  
RESISTENCIA CON ARENA DE CUARZO AL 15% Y 20% A LOS 7 DÍAS

| Ítem de muestra | Edad de curado | Carga máxima (kg) | Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> ) | Promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) |
|-----------------|----------------|-------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|
| 15% AC - M1     | 7 DÍAS         | 44100.00          | 248.23                                         | 249.11                         |
| 15% AC - M2     |                | 44511.00          | 246.59                                         |                                |
| 15% AC - M3     |                | 44814.00          | 252.25                                         |                                |
| 15% AC - M4     |                | 44773.00          | 249.36                                         |                                |
| 20% AC - M1     |                | 49401.00          | 276.96                                         | 279.74                         |
| 20% AC - M2     |                | 50813.00          | 284.50                                         |                                |
| 20% AC - M3     |                | 52223.00          | 290.85                                         |                                |
| 20% AC - M4     |                | 48007.00          | 266.66                                         |                                |

La resistencia del concreto con arena de cuarzo a los 14 días de curado se especifica en la tabla 9 y 10; por lo cual, el reemplazo al 20% obtuvo la resistencia máxima de 319.93 kg/cm<sup>2</sup> y los especímenes restantes cumplieron el 85% de resistencia mínima de diseño ( $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ).

TABLA 8

RESISTENCIA CON ARENA DE CUARZO AL 0% A LOS 14 DÍAS

| Ítem de muestra | Edad de curado | Carga máxima (kg) | Resistencia a compresión (kg/cm2) | Promedio (kg/cm2) |
|-----------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| M1              | 14 DÍAS        | 43043.00          | 239.72                            | 247.17            |
| M2              |                | 44136.00          | 248.43                            |                   |
| M3              |                | 45091.00          | 250.47                            |                   |
| M4              |                | 44902.00          | 250.08                            |                   |

Fuente:[11]

TABLA 9

RESISTENCIA CON ARENA DE CUARZO AL 10%, 15% Y 20% A LOS 14 DÍAS

| Ítem de muestra | Edad de curado | Carga máxima (kg) | Resistencia a compresión (kg/cm2) | Promedio (kg/cm2) |
|-----------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 10% AC - M1     | 14 DÍAS        | 51881.00          | 293.20                            | 300.76            |
| 10% AC - M2     |                | 52789.00          | 296.35                            |                   |
| 10% AC - M3     |                | 55435.00          | 310.38                            |                   |
| 10% AC - M4     |                | 54568.00          | 303.11                            |                   |
| 15% AC - M1     |                | 52716.00          | 298.31                            | 301.66            |
| 15% AC - M2     |                | 55166.00          | 306.43                            |                   |
| 15% AC - M3     |                | 52772.00          | 290.44                            |                   |
| 15% AC - M4     |                | 55995.00          | 311.45                            |                   |
| 20% AC - M1     |                | 56588.00          | 315.58                            | 319.93            |
| 20% AC - M2     |                | 57325.00          | 318.84                            |                   |
| 20% AC - M3     |                | 56279.00          | 315.52                            |                   |
| 20% AC - M4     |                | 58588.00          | 329.78                            |                   |

Fuente:[11]

La resistencia del concreto con arena de cuarzo a los 28 días de curado se consigna en la tabla 11 y 12; en la cual, la sustitución al 20% obtuvo la máxima resistencia de 355.46 kg/cm<sup>2</sup> y las probetas restantes cumplieron con el 100% de resistencia mínima de diseño establecida ( $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ).

TABLA 10

Resistencia con arena de cuarzo al 0% y 10% a los 28 días

| Ítem de muestra | Edad de curado | Carga máxima (kg) | Resistencia a compresión (kg/cm2) | Promedio (kg/cm2) |
|-----------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| M1              | 28 DÍAS        | 43232.00          | 241.41                            | 254.78            |
| M2              |                | 44912.00          | 254.15                            |                   |
| M3              |                | 47179.00          | 266.27                            |                   |
| M4              |                | 46073.00          | 257.28                            |                   |
| 10% AC - M1     |                | 58023.00          | 324.01                            | 333.76            |
| 10% AC - M2     |                | 58073.00          | 328.63                            |                   |
| 10% AC - M3     |                | 61173.00          | 346.17                            |                   |
| 10% AC - M4     |                | 59421.00          | 336.25                            |                   |

Fuente:[11]

TABLA 11

RESISTENCIA CON ARENA DE CUARZO AL 15% Y 20% A LOS 28 DÍAS

| Ítem de muestra | Edad de curado | Carga máxima (kg) | Resistencia a compresión (kg/cm2) | Promedio (kg/cm2) |
|-----------------|----------------|-------------------|-----------------------------------|-------------------|
| 15% AC - M1     | 28 DÍAS        | 62197.00          | 347.32                            | 347.78            |
| 15% AC - M2     |                | 64774.00          | 366.55                            |                   |
| 15% AC - M3     |                | 59006.00          | 327.76                            |                   |
| 15% AC - M4     |                | 63167.00          | 349.49                            |                   |
| 20% AC - M1     |                | 64352.00          | 364.16                            | 355.46            |
| 20% AC - M2     |                | 65448.00          | 370.36                            |                   |
| 20% AC - M3     |                | 62040.00          | 350.14                            |                   |
| 20% AC - M4     |                | 60061.00          | 337.17                            |                   |

Fuente:[11]

En la tabla 13, se evidencia un análisis global de las muestras de concreto con arena de cuarzo al 0%, 10%, 15% y 20%, considerando parámetros de confiabilidad como la resistencia promedio, desviación estándar y coeficiente de variación.

TABLA 12

ANÁLISIS GLOBAL DE RESISTENCIA DE LAS MUESTRAS DE CONCRETO

| Especímenes | Muestra de control       | Muestra 10% ac | Muestra 15% ac | Muestra 20% ac |
|-------------|--------------------------|----------------|----------------|----------------|
| 7 días      | Promedio (kg/cm²)        | 231.44         | 249.60         | 249.11         |
|             | Resistencia estimada (%) | 100.00         | 107.85         | 107.63         |
|             |                          |                |                | 120.87         |

|         |                                |        |        |        |        |
|---------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| 14 días | Variación (%)                  | 0.00   | 7.85   | 7.63   | 20.87  |
|         | Desviación estándar            | 7.72   | 4.95   | 2.38   | 10.41  |
|         | Coefficiente de variación (%)  | 3.34   | 1.98   | 0.96   | 3.72   |
|         | Promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) | 247.17 | 300.76 | 301.66 | 319.93 |
|         | Resistencia estimada (%)       | 100.00 | 121.68 | 122.04 | 129.44 |
|         | Variación (%)                  | 0.00   | 21.68  | 22.04  | 29.44  |
|         | Desviación estándar            | 5.05   | 7.63   | 9.23   | 6.75   |
|         | Coefficiente de variación (%)  | 2.04   | 2.54   | 3.06   | 2.11   |
|         | Promedio (kg/cm <sup>2</sup> ) | 254.78 | 333.76 | 347.78 | 355.46 |
|         | Resistencia estimada (%)       | 100.00 | 131.00 | 136.50 | 139.52 |
| 28 días | Variación (%)                  | 0.00   | 31.00  | 36.50  | 39.52  |
|         | Desviación estándar            | 10.28  | 9.69   | 15.88  | 14.84  |
|         | Coefficiente de variación (%)  | 4.04   | 2.90   | 4.56   | 4.17   |

Fuente:[11]

En la figura 3, se presenta la resistencia del concreto a una edad de curado de 7 días; en la cual, las probetas con arena de cuarzo al 0%, 10%, 15% y 20 obtuvieron valores de 231.44 kg/cm², 249.60 kg/cm², 249.11 kg/cm² y 279.74 kg/cm² respectivamente.

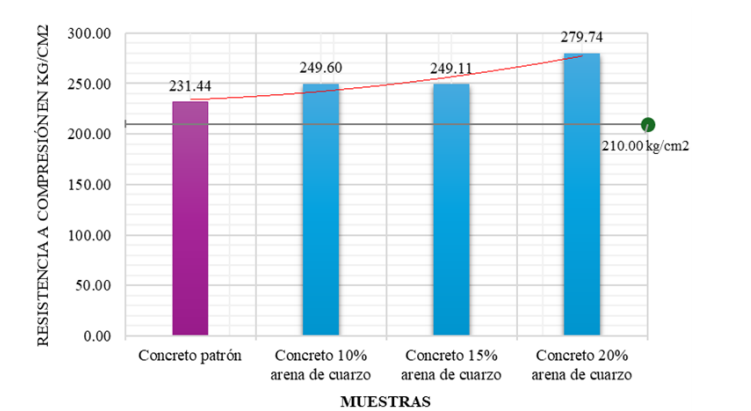


Fig. 4 Comparación de resistencia promedio a los 7 días

En la figura 4, se visualiza la resistencia del concreto a una edad de curado de 14 días; en la cual, los especímenes con arena de cuarzo en porcentajes de 0%, 10%, 15% y 20 obtuvieron valores de 247.17 kg/cm², 300.76 kg/cm², 301.66 kg/cm² y 319.93 kg/cm² respectivamente.

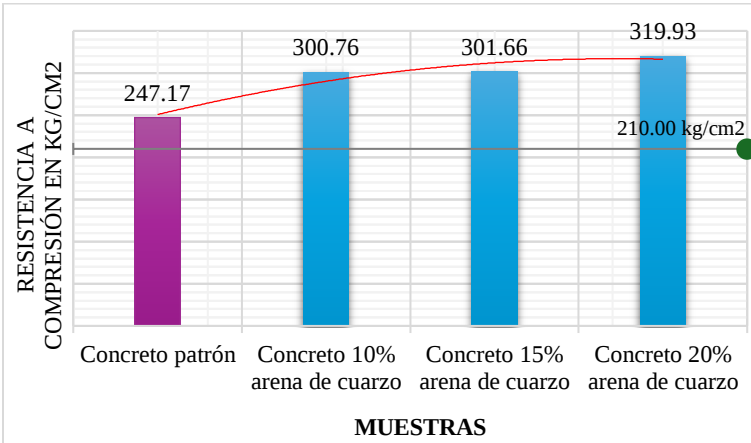


Fig. 5 Comparación de resistencia promedio a los 14 días

En la figura 5, se evidencia la resistencia del concreto a una edad de curado de 28 días; en la cual, las probetas con arena de cuarzo en proporciones de 0%, 10%, 15% y 20 obtuvieron valores de 254.78 kg/cm², 333.76 kg/cm², 347.78 kg/cm² y 355.46 kg/cm² respectivamente.

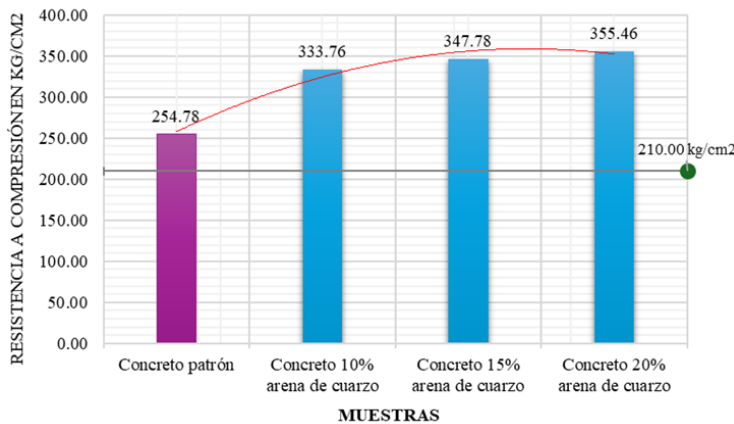


Fig. 6 Comparación de resistencia promedio a los 28 días

En la figura 6, se presenta la comparación estadística de manera general sobre la resistencia promedio del concreto tradicional con arena de cuarzo a los 7, 14 y 28 días de curado.

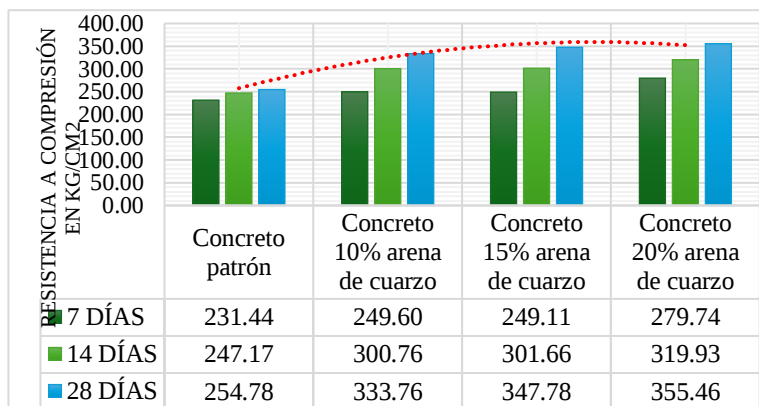


Fig. 7 Comparación general de la resistencia promedio del concreto a diversas edades

Es por ello que la curva esfuerzo vs deformación de las muestras de concreto con arena de cuarzo al 0%, 10%, 15% y 20% se especifica en la figura 7; en la cual, el concreto patrón obtuvo un esfuerzo ( $\sigma$ ) y una deformación unitaria ( $\epsilon_u$ ) con valores de 254.78 kg/cm² y 0.0226, el concreto al 10% con arena de cuarzo tuvo un  $\sigma$  y  $\epsilon_u$  de 333.76 kg/cm² y 0.0299, el concreto al 15% con arena de cuarzo tuvo un  $\sigma$  y  $\epsilon_u$  de 347.78 kg/cm² y 0.0236; por último, la muestra al 20% con arena de cuarzo obtuvo un  $\sigma$  y  $\epsilon_u$  355.46 kg/cm² y 0.0223; cabe mencionar, que la distribución de una menor deformación se debe a una mayor rigidez, alta densidad y optima adherencia entre elementos; por otro lado, una mayor deformación reduce la rigidez y se obtiene una estructura más flexible.

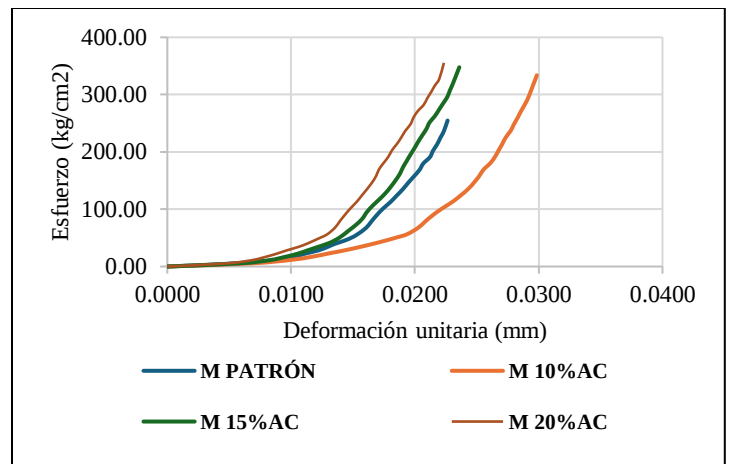


Fig. 7 Curva esfuerzo vs deformación de las muestras de concreto con arena de cuarzo

Por consecuencia, se formularon las siguientes hipótesis de acuerdo con el análisis de varianza (ANOVA) para las probetas con arena de cuarzo en proporciones del 0%, 10%, 15% y 20% realizadas a los 28 días.

**H<sub>0</sub>:** La resistencia mecánica del concreto tradicional no aumenta con la sustitución de agregado fino por arena de cuarzo al 0%, 10%, 15% y 20%.

**H<sub>1</sub>:** La resistencia mecánica del concreto convencional aumenta con la sustitución de agregado fino por arena de cuarzo al 0%, 10%, 15% y 20%.

El valor de significancia de 4.18E-07 es inferior al nivel típico de alfa ( $\alpha = 0.05$ ): en la cual, nos permite rechazar la hipótesis nula y aceptar la alternativa, ya que existe pruebas estadísticas en el estudio que demuestran que la aplicación de arena de cuarzo optimiza la resistencia mecánica del concreto.

TABLA 13  
VARIANZA DE RESISTENCIA DEL CONCRETO

| Grupos     | Cuenta | Suma    | Promedio | Varianza |
|------------|--------|---------|----------|----------|
| M          | 4      | 1019.11 | 254.78   | 105.81   |
| 10% AC – M | 4      | 1335.06 | 333.77   | 93.86    |
| 15% AC – M | 4      | 1391.12 | 347.78   | 252.08   |
| 20% AC – M | 4      | 1421.83 | 355.46   | 220.18   |

Fuente:[11]

TABLA 14  
ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA) DE RESISTENCIA DEL CONCRETO

| Variación            | $\Sigma$ cuadrados | Grados de libertad | Promedios cuadrados | F     | Significancia | Valor crítico F |
|----------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------|---------------|-----------------|
| Entre grupos         | 25750.88           | 3                  | 8583.63             | 51.10 | 4.18E-07      | 3.49            |
| Dentro de los grupos | 2015.79            | 12                 | 167.98              |       |               |                 |

|       |              |    |
|-------|--------------|----|
| Total | 27766.6<br>7 | 15 |
|-------|--------------|----|

Fuente:[11]

Por último, se sintetizó un análisis de precios unitarios para elaborar 1 m<sup>3</sup> de concreto con sustitución del agregado fino por arena de cuarzo al 0%, 10%, 15% y 20% como específica en el anexo 15; en los cuales, se consiguió un costo de S/. 665.25, S/. 732.82, S/. 771.40 y S/. 809.99 respectivamente.

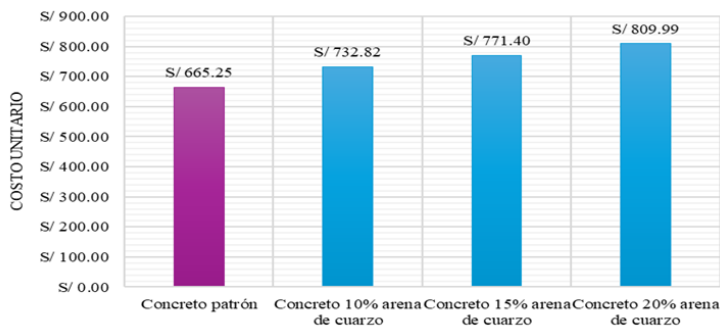


Fig. 8 Precios unitarios para 1 m<sup>3</sup> de concreto

#### IV. CONCLUSIONES

En consecuencia, con las evidencias recolectadas se valida la hipótesis formulada; debido a que, la resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con arena de cuarzo de los porcentajes del 10%, 15% y 20% aumentaron un 31.00%, 36.50% y 39.52% respectivamente.

Se determinó la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución de agregado fino por arena de cuarzo en porcentajes de 10%, 15% y 20%; en la cual, el concreto con el uso de este material en los porcentajes mencionados mantuvo una óptima resistencia.

Se determinó las propiedades físicas de los agregados finos y grueso procedentes de la cantera “Bazán Contratistas Generales SRL”, cumpliendo con lo establecido en cada ensayo para un correcto control de calidad de los agregados.

Se elaboró un diseño de mezcla ACI 211.1 para un concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , siendo su dosificación de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua (1: 2.13: 3.13: 0.41). Se determinó la resistencia del concreto patrón  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  a los 7, 14 y 28 días; en el cual, sus resultados fueron 231.44  $\text{kg/cm}^2$ , 247.17  $\text{kg/cm}^2$  y 254.78  $\text{kg/cm}^2$  respectivamente.

Se comparó la resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución de arena de cuarzo al 10% a los 7, 14 y 28 días, que tuvo resultados de 249.60  $\text{kg/cm}^2$ , 300.76  $\text{kg/cm}^2$  y 333.76  $\text{kg/cm}^2$ , además, con arena de cuarzo al 15% a los 7, 14 y 28 días se obtuvo 249.11  $\text{kg/cm}^2$ , 301.66  $\text{kg/cm}^2$  y 347.78  $\text{kg/cm}^2$ , finalmente, con arena de cuarzo al 20% a los 7, 14 y 28 días se consiguió 279.74  $\text{kg/cm}^2$ , 319.93  $\text{kg/cm}^2$  y 355.46  $\text{kg/cm}^2$  respectivamente.

Por lo tanto, se recomienda desarrollar un diagnóstico sobre la resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución de

arena de cuarzo en fracciones mayores al 20%; ya que este material optimiza las características mecánicas del concreto es factible su estudio en futuros investigadores.

#### V. REFERENCIAS

- [1] Arévalo Vidal, S. (2024). Influencia del sílice en la evaluación de las propiedades mecánicas del concreto de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ . Lima - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- [2] Baena Paz, G. (2017). Metodología de la investigación. México: Grupo Editorial Patria.
- [3] Peñaloza Palacios, C. (2024). Diseño de hormigones adicionando partículas de sílice para mejorar las propiedades mecánicas del hormigón. Manabí - Ecuador: Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- [4] Muñasqui Salcedo, J. (2022). Mejoramiento de la resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , con la adición de Sílice en diferentes edades y porcentajes - Pasco - 2022. Cerro de Pasco - Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.
- [5] Briones Chavez, J., & Romero Pereda, W. (2022). Resistencia del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con micro sílice (si) y nano sílice (nanosio2), Cajamarca - 2022. Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte.
- [6] Alfaro Rojas, J., & Silva Fernandez, W. (2023). Diseño de un concreto  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  con adición de sílice para mejorar la resistencia a compresión, Tarapoto 2023. Tarapoto - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- [7] Bardales Zegarra, F., & Bagner Anderson, N. (2018). Influencia del cuarzo reemplazante del agregado grueso en las propiedades mecánicas del concreto, Trujillo 2018. Trujillo - Perú: Universidad Privada del Norte.
- [8] Matallana Rodríguez, R. (2019). El concreto - Fundamentos y nuevas tecnologías. Colombia: Constructora Concreto y Corona Industrial.
- [9] NTP 400.037 (2014). Especificaciones normalizadas para agregados en concreto. Lima - Perú: Comisión de Normalización y de Fiscalización Comerciales no Arancelarias - INDECOPI.
- [10] Nilson H, A. (2001). Diseño de estructuras de Concreto, Colombia.
- [11] Dirección General de Desarrollo Minero. (2018). Perfil de mercado del sílice. Secretaría de Economía, 1-56.
- [12] Tello Perez, L.C. (2024). Resistencia a la compresión del concreto  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución parcial del agregado fino en porcentajes del 10%, 15% y 20% por arena de cuarzo, Cajamarca 2024, Cajamarca