



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“INFLUENCIA DEL NANOSÍLICE POR SUSTITUCIÓN PARCIAL  
AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE  
ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017”.**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**HELAR MENDOZA ALMONTE**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2021**



## DEDICATORIA

***Helar Mendoza.***

*A Dios por su gracia y bendiciones.*

*Mis queridos padres: Ismael Mendoza y Esperanza Almonte, quien con su ayuda y consejo han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.*

*Mi pareja: Yeni Monica que con su apoyo constante me ayudó y a mi precioso hijo Benjamin Alexander es una bendición que Dios me regalo, quien me dio la inspiración y motivación para seguir adelante.*

*Mis hermanos: Yesenia, Gilmer, Jhudith y Eddy quienes con sus apoyos, consejos me ayudaron a seguir adelante.*

*Y por último a mis compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano por compartir momentos únicos.*



## AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Máter: “Universidad Nacional del Altiplano” por las vivencias, conocimientos y experiencias adquiridas.

A mis jurados, M. C. Emilio Castillo Aroni, Ing. José Luis Cutipa Arapa, Ing. Gleny Zoila De La Riva Tapia, por las recomendaciones y correcciones brindadas a esta investigación.

A mi Director de Tesis, Dr. Samuel Huaquisto Cáceres, por el apoyo incesante en la elaboración y concepción de este proyecto.

Al laboratorio de Construcciones, laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, de nuestra facultad, así como también al Bach. Ing. Yvanni Víctor Aragón Choque por su constante apoyo, colaboración, y a la EMPRESA ULMEN S.A. especialmente al Ing. Diego Minaya Abregu por su donación del producto nanosílice, por su apoyo, colaboración en la realización de este trabajo experimental.

A mis compañeros, amigos, por compartirme sus conocimientos, experiencias, anécdotas. Y a todos los demás colaboradores que de forma directa e indirecta ayudaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.



## ÍNDICE GENERAL

### DEDICATORIA

### ÍNDICE DE FIGURAS

### ÍNDICE DE TABLAS

### ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

**RESUMEN ..... 13**

**ABSTRACT..... 14**

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 16**

1.1.1 Descripción del problema..... 16

1.1.2 Problema general..... 17

1.1.3 Preguntas específicas..... 17

**1.2. JUSTIFICACIÓN..... 17**

**1.3. OBJETIVOS..... 19**

1.3.1 Objetivo general..... 19

1.3.2 Objetivo específico..... 19

**1.4. HIPÓTESIS..... 19**

1.4.1 Hipótesis general..... 19

1.4.2 Hipótesis específica..... 19

**1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN..... 20**

1.5.1 Tipo de investigación..... 20

1.5.2 Nivel de investigación..... 20

1.5.3 Diseño de investigación..... 20

1.5.4 Población, muestra y muestreo..... 21

1.5.4.1 Población..... 21

1.5.4.2 Muestra..... 22

1.5.5 Técnicas e instrumentos para recolección de datos..... 24

1.5.5.1 Técnica..... 24

1.5.5.2 Instrumentos..... 24

1.5.6 Procedimiento de recolección de datos..... 25

1.5.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos..... 25

1.5.7.1 Técnica de procesamiento..... 25





1.5.7.2 Análisis de los datos. ....	25
<b>1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES. ....</b>	<b>25</b>

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

<b>2.1. ANTECEDENTES. ....</b>	<b>27</b>
<b>2.2. NANOSÍLICE GAIA. ....</b>	<b>35</b>
2.2.1 Propiedades físicas de la nanosíllice. ....	35
2.2.2 Propiedades químicas de la nanosíllice. ....	36
2.2.3 Beneficios obtenidos usando nanosíllice. ....	36
<b>2.3. EL CONCRETO. ....</b>	<b>36</b>
2.3.1 Componentes del concreto. ....	37
2.3.1.1 Cemento. ....	37
2.3.1.2 Agregados. ....	37
2.3.1.3 Agregado fino. ....	38
2.3.1.4 Agregado grueso. ....	38
2.3.1.5 Agua. ....	39
<b>2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO. ....</b>	<b>39</b>
2.4.1 Propiedades en estado fresco. ....	39
2.4.1.1 Trabajabilidad. ....	39
2.4.2 Propiedades en estado endurecido. ....	39
2.4.2.1 Resistencia a la compresión. ....	39
2.4.2.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral. ....	40
<b>2.5. CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA. ....</b>	<b>40</b>
2.5.1 Aplicaciones del concreto de alta resistencia. ....	41
2.5.2 Ventajas de uso. ....	41
2.5.3 Tipos. ....	42
2.5.3.1 Concreto de alta resistencia final. ....	42
2.5.3.2 Concreto de alta resistencia inicial. ....	42
<b>2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS. ....</b>	<b>42</b>
2.6.1 Análisis estadístico. ....	42
2.6.2 Definiciones de conceptos estadísticos. ....	43
2.6.2.1 Medidas de variación o dispersión. ....	45
2.6.2.2 Distribución normal. ....	47
2.6.2.3 Medidas de forma de la distribución. ....	48
2.6.2.4 Distribución T de Student. ....	50



2.6.3 Prueba de hipótesis.....	53
--------------------------------	----

### CAPÍTULO III

#### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. MATERIALES EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>55</b>
3.1.1 Cantera.....	55
3.1.2 Agregado fino.....	56
3.1.3 Agregado grueso.....	56
3.1.4 Nanosílice.....	56
3.1.5 Cemento utilizado.....	57
3.1.6 Agua.....	57
<b>3.2. PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE DISEÑO DEL ACI 211.4.....</b>	<b>58</b>
3.2.1 Diseño de concreto de alta resistencia.....	64
3.2.2 Diseño concreto con sustitución parcial de Nanosílice.....	69
<b>3.3. ELABORACIÓN DE CONCRETO.....</b>	<b>71</b>
3.3.1 Probetas de concreto.....	72
3.3.2 Curado del concreto.....	72
<b>3.4. ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO.....</b>	<b>73</b>
3.4.1 Ensayo de asentamiento.....	73
<b>3.5. ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO.....</b>	<b>74</b>
3.5.1 Ensayo de resistencia a compresión.....	74
3.5.2 Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.....	75

### CAPÍTULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. RESULTADO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....</b>	<b>76</b>
<b>4.2. RESULTADO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....</b>	<b>76</b>
<b>4.3. RESULTADO DEL CONCRETO A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.....</b>	<b>78</b>
<b>4.4. DISCUSIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>4.5. DISCUSIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....</b>	<b>80</b>
<b>4.6. DISCUSIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....</b>	<b>80</b>
4.6.1 Resistencia a compresión.....	80
4.6.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral.....	80
4.6.3 Interpretación de datos: concreto patrón (CP) – concreto con sustitución parcial del cemento por nanosílice.....	81
<b>4.7. ANÁLISIS DE COSTOS.....</b>	<b>82</b>



<b>4.8. ANÁLISIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.</b>	<b>87</b>
4.8.1 Análisis estadístico.	87
<b>V. CONCLUSIONES.</b>	<b>100</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>101</b>
<b>VII. REFERENCIAS</b>	<b>102</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>104</b>
<b>ANEXOS A: ENSAYOS DE LABORATORIO</b>	<b>105</b>
Anexo A-1: Constancia de laboratorio de construcciones.	105
Anexo A-2: Granulometría del agregado fino	106
Anexo A-3: Granulometría del agregado grueso.	107
Anexo A-4: Peso específico y absorción de agregados	108
Anexo A-5: Contenido de humedad de agregados	109
Anexo A-6: Peso unitario del agregado fino y grueso	110
<b>ANEXOS B: RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN</b>	<b>111</b>
Anexo B-1: Ensayo de Resistencia a Compresión	111
Anexo B-2: Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral	117
<b>ANEXO C: CONTROLES DE CALIDAD</b>	<b>118</b>
Anexo C-1: Certificado de calidad del nanosílice	118
Anexo C-2: Certificado de calidad cemento portland tipo IP	119
<b>ANEXOS D: METODO DE DISEÑO ACI 211.4.</b>	<b>120</b>
Anexo D-1: Método de diseño ACI para concreto patrón.	120
<b>ANEXOS E: ANALISIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS</b>	<b>127</b>
Anexo E-1: Análisis estadístico.	127
<b>ANEXOS F: TABLAS ESTADÍSTICAS</b>	<b>133</b>
Anexo F-1: Tablas de distribución “t” de student	133
<b>ANEXO G: NORMAS Y REPORTES</b>	<b>134</b>
Anexo G-1: Guide for selecting proportions for high-strength concrete using portland cement and other cementitious materials (ACI 211.4R-08).	134
Anexo G-2: Práctica estándar para fabricación y curado de especímenes de concreto (ASTM C31/C31M- 03a).	146
Anexo G-3: Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C39/C39M – 14).	151



Anexo G-4: Método de ensayo normalizado para determinar la tracción por hendidamiento (tracción por compresión diametral) de las probetas cilíndricas de hormigón (concreto) (ASTM C496 - 96). .....	158
<b>ANEXO H: PANEL FOTOGRÁFICO .....</b>	<b>164</b>

**Área** : Construcciones.

**Tema** : Tecnología del concreto.

**Línea de investigación:** La tecnología de los materiales en la construcción.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 17 de marzo de 2021.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Esquema general de la población. ....	21
<b>Figura 2</b> Histograma de frecuencias. ....	44
<b>Figura 3</b> Distribución de Gauss. ....	47
<b>Figura 4.</b> Formas típicas de distribuciones de datos. ....	49
<b>Figura 5.</b> Formas típicas del coeficiente de cúrtosis. ....	50
<b>Figura 6.</b> Curva de distribución para hipótesis de dos colas. ....	51
<b>Figura 7.</b> Curva de distribución para hipótesis de una cola a la derecha. ....	51
<b>Figura 8.</b> Curva de distribución para hipótesis de una cola a la izquierda. ....	52
<b>Figura 9.</b> Traslado material de la cantera Cutimbo. ....	55
<b>Figura 10.</b> GAIA Nanosílice. ....	57
<b>Figura 11</b> Secuencia y tiempo de mezclados empleados. ....	71
<b>Figura 12</b> Llenado de moldes y apisonado de mezcla de concreto en tres capas iguales y luego su respectiva codificación. ....	72
<b>Figura 13.</b> Poza para curado. ....	73
<b>Figura 14.</b> Ensayo de asentamiento cono de Abrams. ....	74
<b>Figura 15.</b> Ensayo de resistencia a compresión. ....	74
<b>Figura 16</b> Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral. ....	75
<b>Figura 17</b> Evolución de la resistencia a la compresión 7, 14 y 28 días, para los grupos de prueba. ....	77
<b>Figura 18.</b> Evolución de la resistencia a la tracción por compresión diametral para los 28 días, en los grupos de prueba. ....	78
<b>Figura 19</b> Variación del costo del concreto para 1m <sup>3</sup> . ....	87
<b>Figura 20</b> Distribución normal: concreto patrón (100%C+0%NS). ....	88
<b>Figura 21</b> Distribución normal: concreto patrón (99%C+1%NS). ....	89
<b>Figura 22</b> Distribución normal: concreto patrón (98.5%C+1.5%NS). ....	90
<b>Figura 23.</b> Distribución normal: concreto patrón (98%C+2%NS). ....	91
<b>Figura 24.</b> Distribución normal: concreto patrón (97.5%C+2.5%NS). ....	92
<b>Figura 25.</b> Distribución normal: concreto patrón (93%C+3%NS). ....	93
<b>Figura 26.</b> Gráfica de la distribución t para $\alpha = 0.05$ y 8 grados de libertad. ....	97



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Resumen cantidad de muestras .....	23
<b>Tabla 2</b> Matriz de consistencia .....	26
<b>Tabla 3</b> Resumen propiedades físicas y químicas de la nanosílice según el fabricante	36
<b>Tabla 4</b> Consistencia de mezcla de concreto .....	39
<b>Tabla 5</b> Coeficiente de variación y desviación estándar .....	43
<b>Tabla 6</b> Determinación de t tabla para un nivel de significancia de 0.05 .....	54
<b>Tabla 7</b> Características de los agregados .....	56
<b>Tabla 8</b> Resultados del análisis físico químico del agua.....	58
<b>Tabla 9</b> Tabla para hallar el tamaño máximo nominal del agregado.....	59
<b>Tabla 10</b> Slump recomendado para concretos de alta resistencia con y sin superplastificante.....	60
<b>Tabla 11</b> Tabla de volumen de agregado grueso según el tamaño máximo nominal del agregado grueso.....	61
<b>Tabla 12</b> Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire .....	62
<b>Tabla 13</b> Relación agua/materiales cementicios para concreto sin superplastificante ..	63
<b>Tabla 14</b> Tabla de las propiedades físicas del cemento, agua y agregados para los diseños del ACI 211.4 .....	64
<b>Tabla 15</b> Resumen de materiales por el método de peso equivalente.....	70
<b>Tabla 16</b> Resumen de material para un volumen de 0.095 m <sup>3</sup> de concreto .....	70
<b>Tabla 17</b> Resumen de material para 1m <sup>3</sup> de concreto .....	76
<b>Tabla 18</b> Resumen resultados del ensayo de resistencia a la compresión .....	77
<b>Tabla 19</b> Resumen resultados del ensayo a la tracción por compresión diametral.....	78
<b>Tabla 20</b> Resistencia a la compresión promedio obtenido.....	80
<b>Tabla 21</b> Resistencia a la tracción por compresión diametral y promedio obtenido .....	81
<b>Tabla 22</b> Rango de variación de la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto para distintos métodos de ensayo .....	81
<b>Tabla 23</b> Costo unitario de materiales para el concreto: 100%C + 0%NS (CP) .....	84
<b>Tabla 24</b> Costo unitario de materiales para el concreto: 99%C + 1%NS .....	85
<b>Tabla 25</b> Costo unitario de materiales para el concreto: 98.5%C + 1.5%NS .....	85
<b>Tabla 26</b> Costo unitario de materiales para el concreto: 98%C + 2%NS .....	85
<b>Tabla 27</b> Costo unitario de materiales para el concreto: 97.5%C + 2.5%NS .....	86
<b>Tabla 28</b> Costo unitario de materiales para el concreto: 97%C + 3%NS .....	86



<b>Tabla 29</b> Resumen costo unitario de materiales .....	86
<b>Tabla 30</b> Análisis Estadístico CP (100%C+0%NS) – Resistencia a la Compresión - 28 días .....	88
<b>Tabla 31</b> Análisis Estadístico 99%C+1%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días.	89
<b>Tabla 32</b> Análisis Estadístico 98.5%C+1.5%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días .....	90
<b>Tabla 33</b> Análisis Estadístico 98%C+2%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días.	91
<b>Tabla 34</b> Análisis Estadístico 97.5%C+2.5%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días .....	92
<b>Tabla 35</b> Análisis Estadístico 97%C+3%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días.	93
<b>Tabla 36</b> Cálculo del estadístico de prueba $t_p$ para el concreto a una edad de 28 días..	96
<b>Tabla 37</b> Decisión de la hipótesis $H_0$ con el $t_p$ para el concreto a 28 días de edad.....	98



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>ASTM</b>	: Siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que . Significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
<b>A/C</b>	: Relación agua/cemento para diseño de mezclas.
<b>A/(C+NS)</b>	: Relación agua/material cementante (cemento más nanosílice).
<b>CP</b>	: Concreto patrón.
<b>%C</b>	: Porcentaje de cemento.
<b>%NS</b>	: Porcentaje de nanosílice.
<b>gr</b>	: Gramos.
<b>IP</b>	: Cemento Puzolánico.
<b>kg</b>	: Kilogramos.
<b>NTP</b>	: Norma Técnica Peruana.
<b>F'c</b>	: Resistencia de diseño a la compresión.
<b>F'cr</b>	: Resistencia promedio de diseño a la compresión.
<b>W%</b>	: Contenido de humedad.
<b>°C</b>	: Grados centígrados.
<b>V</b>	: Volumen.
<b>u</b>	: Media aritmética.
<b>n</b>	: Número de pruebas realizadas.
<b><math>\sigma</math></b>	: Desviación estándar.
<b><math>\sigma^2</math></b>	: Varianza.
<b>H<sub>0</sub></b>	: Hipótesis nula.
<b>H<sub>a</sub></b>	: Hipótesis alternativa.
<b>TMN</b>	: Tamaño máximo nominal.





## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el laboratorio de Construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano – Puno. El objetivo principal fue: determinar la influencia del concreto de alta resistencia con la sustitución parcial del cemento por nanosílice; para así, establecer el porcentaje más óptimo, tomando en cuenta la influencia en la resistencia a la compresión y el costo unitario de producción. El proceso de investigación se basó en elaborar 18 especímenes de concreto patrón  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  y 90 especímenes de concreto  $f'c=350\text{kg/cm}^2$  con diferentes porcentajes de nanosílice; los resultados indican que las resistencias a la compresión incrementan en 14.50%, 19.95%, 29.51%, 19.33% y 5.33% sustituyendo nanosílice en 1%, 1.5%, 2%, 2.5 y 3% respecto al concreto patrón. Se usó cemento portland puzolánico tipo IP, relación agua cemento es 0.42. El diseño se basa por la guía ACI 211.4 para concreto. Al finalizar la investigación se llegó a la siguiente conclusión: la resistencia más alta obtenida a la compresión en 28 días es  $453.28 \text{ kg/cm}^2$  con nanosílice de 2% y esta sería el óptimo obtenido. También se realizó un análisis de costos de producción con las resistencias obtenidas del nanosílice, llegando a la conclusión de que el costo disminuye en 0.01% y 2.02%, con nanosílice de 1% y 2%. Por último, se realizó la resistencia a tracción por compresión diametral a los 28 días alcanzando resistencias por encima de la resistencia del concreto patrón.

**Palabras Clave:** Concreto, nanosílice, resistencia a la compresión.



## ABSTRACT

The present research work was carried out in the construction laboratory of the Professional School of Civil Engineering of the National University of the Altiplano - Puno, with the main objective of determining the influence of high-strength concrete with partial replacement of cement by nanosilica in the city of Puno; thus establishing the most optimal percentage taking into account the influence on compressive strength and unit cost of production. The research process was based on developing 18 specimens of concrete pattern  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  and 90 specimens of concrete  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  with different percentages of nanosilica; The results indicate that compressive strengths increase by 14.50%, 19.95%, 29.51%, 19.33% and 5.33% by replacing nanosilica in 1%, 1.5%, 2%, 2.5 and 3% with respect to the standard concrete. Port type pozzolanic Portland cement was used, water cement ratio is 0.42. The design is based on the ACI 211.4 guide for concrete. And as a conclusion, the highest resistance to compression obtained in 28 days is  $453.28 \text{ kg/cm}^2$  with 2% nanosilica and this would be the optimum obtained, an analysis of production costs was also carried out with the resistances obtained with nanosilica for which He made the design for the resistors in which the cost decreases in 0.01% and 2.02%, with 1% and 2% nanosilica. And finally the tensile strength was performed by diametral compression at 28 days of age.

**Key Words:** Concrete, nanosilica, compressive strength.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Puno hay un incremento en la demanda de viviendas y los espacios libres para construcción son cada vez más escasos; por esto, los constructores y diseñadores están siendo obligados a pensar en el crecimiento vertical como la opción más viable a esta situación, es por ello que en los últimos años se están construyendo edificios más altos y con solicitudes más exigentes.

Debido a este problema se realiza la investigación con el uso de nanosílice para mejorar las propiedades en estado fresco y endurecido del concreto porque hay muy poco antecedente del uso de este material en la ciudad de Puno. La ciudad de Puno tiene un clima y agregados diferentes a otras ciudades que afectan directamente las propiedades del concreto.

El avance acelerado en la tecnología de nuevas materias primas, elaboración de aditivos y adiciones, hace posible la producción de concretos con mejores propiedades de resistencia y durabilidad. Hace unos años se hablaba de la microsílice como componente indispensable para lograr concretos de alta resistencia. La microsílice es un polvo muy fino que posee propiedades físicas y químicas increíbles, resumidas en su alta reactividad puzolánica, pero su uso tiene un impacto en el medio ambiente y daño a los operarios que lo manipulan generando enfermedades respiratorias (Silicosis) y demás enfermedades de la piel. Es así que en la actualidad se ha desarrollado un material más pequeño, la nanosílice, que se presenta en estado líquido y posee mejores propiedades que la microsílice además de poseer la capacidad de plastificar el concreto en estado fresco reduciendo la relación agua-cemento y logrando mejores resultados en el estado endurecido. La nanosílice tiene un impacto nulo en el medio ambiente debido a que se comercializa en estado líquido. Es por las razones anteriormente mencionadas que la



nanosílice tiene grandes posibilidades de reemplazar el uso de microsílice para lograr concretos de alta resistencia.

La importancia de obtener concreto de durabilidad óptima y al más bajo costo en los proyectos de construcción con el uso del nanosílice es la razón principal de este estudio; además, estos aspectos son los que idealmente deben cumplir los que diseñan concreto.

Esta investigación resuelve la siguiente interrogante: ¿En qué medida mejora la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución parcial del cemento por nanosílice en la ciudad de Puno y el costo unitario de producción? para lo cual se propuso la siguiente hipótesis: La sustitución parcial al cemento por nanosílice, mejora la resistencia a la compresión del concreto  $f'=350 \text{ kg/cm}^2$ , lo cual permite disminuir el costo unitario de producción.

En ese sentido, se planteó como Objetivo General: Determinar la variación de la resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial del cemento por nanosílice en la ciudad de Puno; utilizando diferentes porcentajes de nanosílice y así establecer el porcentaje más óptimo para luego ser aplicado en la ciudad de Puno tomando en cuenta la influencia en la resistencia a la compresión y el costo unitario de producción.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

### **1.1.1 Descripción del problema.**

Debido al elevado costo en las construcciones civiles, donde el concreto tiene la posición más importante a la hora de invertir, planear e implementar los materiales de construcción, por esto, nace la necesidad de buscar nuevas soluciones en el concreto, buscar óptimos desempeños y mayor economía sin amenazar la calidad del producto.

En la actualidad, a nivel mundial se está teniendo nuevas tendencias en cuanto al uso de concreto, puesto que los actuales requerimientos de las características del concreto son

muy variados. Por lo que, es cotidiano el uso de diferentes tipos de adiciones, las que modifican y mejoran algunas propiedades del concreto en estado fresco como en estado endurecido. (Loayza Goicochea, 2014, pág. 1).

Con la presente investigación se busca mejorar algunas propiedades mecánicas tales como, resistencia a la compresión y compresión por tracción diametral al concreto de  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Puno, utilizando nanosílice como sustituto del cemento mejora su resistencia en el concreto, de esta manera disminuye los costos de producción, minimizando así la cantidad de cemento a utilizarse en el diseño de mezclas, lo cual es el tema a tratar en esta investigación.

### **1.1.2 Problema general.**

- ¿En qué medida mejora la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  con sustitución parcial del cemento por nanosílice en la ciudad de Puno y el costo unitario de producción?

### **1.1.3 Preguntas específicas.**

- ¿Cuál será la resistencia a la compresión de un concreto sustituido parcialmente con 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3% de nanosílice, respecto a un concreto patrón  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ ?
- ¿Cuál es el porcentaje óptimo de sustitución del cemento por nanosílice entre 1% 1.5%, 2%, 2.5% y 3%, mediante su resistencia a la compresión?
- ¿Cuánto varían los costos unitarios entre el concreto patrón  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ , y el concreto  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  sustituido parcialmente con nanosílice?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN.**

En nuestro país, la industria de la construcción produce grandes volúmenes de concreto, por lo que actualmente los concretos no son fabricados solo con agregados: cemento y agua existen distintas adiciones o sustituciones que ya han pasado a formar



parte de una mezcla de concreto convencional, este es el resultado de la evolución de la tecnología del concreto, cuyas propiedades optimizadas hacen que sean utilizados en diferentes aplicaciones y necesidades estructurales de una obra.

Dado la cantidad de obras que se vienen realizando en la ciudad de Puno, es necesario, producir concretos con resistencia mejorada, lo cual se puede lograr con la nanosílice; no obstante, también se debe tener presente los criterios básicos de composición, dosificación y elaboración de concreto. La importancia de esta investigación reside en que la información generada es útil para el logro de un concreto con mejor resistencia a la compresión, asimismo el resultado de esta investigación permite la aplicación de un nuevo material de construcción (nanosílice) en la ejecución de obras civiles de la ciudad de Puno, sobre todo en aquellas donde se utiliza el concreto pre-mezclado.

Debido a la necesidad cada vez más grande de realizar construcciones de altura, Puno tiende a crecer en forma vertical, por esto, se requiere de concreto de alta resistencia. La nanosílice es un nuevo material del cual se sabe muy poco, mucho menos en nuestra ciudad de Puno; así mismo, se obtuvieron buenos resultados en investigaciones en otros países, logrando sustituir a un producto muy utilizado en el concreto como es la microsílice, a su vez se ha demostrado que causa daño a la salud produciendo silicosis y tiene un elevado costo como aditivo del concreto. El nanosilice es amistoso con el medio ambiente y la salud de los operarios que la manipulan, también, tiene menor costo.

Esta investigación brinda información sobre el comportamiento en las mezclas de concreto, utilizando diferentes porcentajes de nanosílice, tanto en estado fresco mediante el ensayo de revenimiento, como en estado endurecido mediante el ensayo de resistencia a la compresión y la resistencia a la tracción por compresión diametral.



### **1.3. OBJETIVOS.**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

- Determinar la variación de resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial del cemento por nanosílice en la ciudad de Puno y el costo unitario de producción.

#### **1.3.2 Objetivo específico.**

- Determinar la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  sustituido parcialmente con nanosílice en 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, 3% y del concreto patrón  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$ .
- Establecer el porcentaje óptimo de sustitución del cemento por nanosílice entre 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3%, mediante su resistencia a la compresión.
- Comparar los costos unitarios del concreto  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  y del concreto aplicado con nanosílice.

### **1.4. HIPÓTESIS.**

#### **1.4.1 Hipótesis general.**

- La sustitución parcial del cemento por nanosílice, mejora la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  permitiendo disminuir el costo unitario de producción.

#### **1.4.2 Hipótesis específica.**

- La resistencia a la compresión que alcanza el concreto con sustitución parcial de nanosílice en 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3% es mayor con respecto a la resistencia alcanzada por el concreto patrón  $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de su elaboración.
- El porcentaje óptimo de nanosílice como sustituto parcial del cemento, para mejorar su resistencia a la compresión serán menores al 2%.



- El costo unitario del concreto con resistencia  $f'c=350\text{kg/cm}^2$  aplicado con nanosílice resulta menor al concreto patrón.

## **1.5. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.**

### **1.5.1 Tipo de investigación.**

La investigación es del tipo: correlacional - sincrónicas - cuantitativo; puesto que tiene como propósito relacionar y vincular entre si una de las características del concreto patrón  $f'c=350\text{ kg/cm}^2$  (resistencia a la compresión) y el concreto con sustitución de diferentes porcentajes de nanosílice respecto al peso del cemento en su diseño. Es sincrónica porque los experimentos se realizan solo en periodos determinados y es cuantitativa porque la información utilizada es de tipo cuantitativo.

“La investigación Correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población ". (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006, pág. 104)

### **1.5.2 Nivel de investigación.**

El nivel de esta investigación es explicativo, debido a que se estudian las causas que originan la variación de resultados al manipular la variable independiente.

“La investigación Explicativa pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006, pág. 108)

### **1.5.3 Diseño de investigación.**

El diseño de una investigación puede ser de campo, experimental o bibliográfico. Para este caso se utilizará un diseño experimental, ya que, naturalmente es necesario obtener datos bibliográficos de los cuales justifiquen los distintos aspectos de la investigación. Es con estos datos que será posible desarrollar distintas actividades como



las cantidades de cada uno de los materiales necesarios para producir el concreto, el cual, luego de una serie de experimentos, nos permitan determinar la resistencia.

“La investigación experimental se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de escribir de qué modo o por que causa se produce una situación o acontecimiento particular” (Tamayo y Tamayo, 2004, pág. 47).

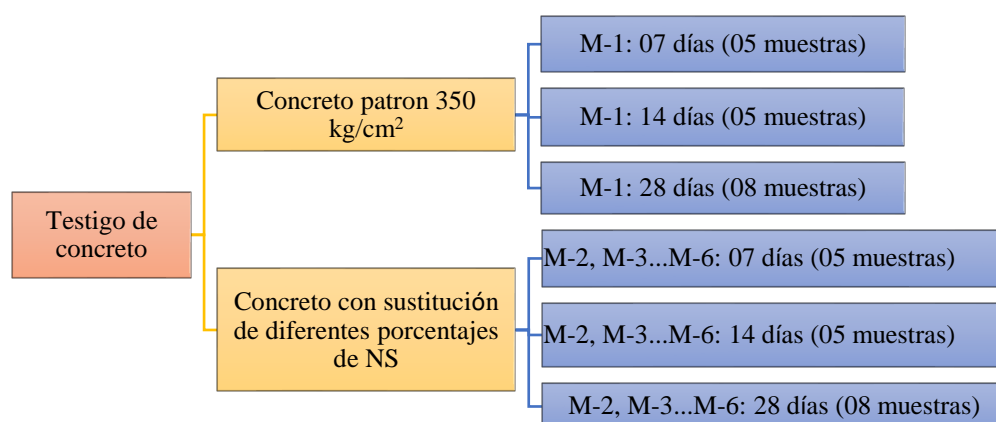
#### 1.5.4 Población, muestra y muestreo.

##### 1.5.4.1 Población.

Es un conjunto finito o infinito de elementos con características comunes para los cuales serán extensivas las conclusiones de la investigación. Ésta queda delimitada por el problema y por los objetivos de estudio" (Arias Odon , 2012)

La población está conformada por seis diseños de mezcla: el concreto patrón con resistencia  $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup> y el concreto con sustitución de diferentes porcentajes de nanosílice en 1.0%, 1.5%, 2.0%, 2.5%, y 3.0% respecto en peso del cemento en su diseño. Se realizó por cada diseño 18 probetas, en conclusión, se realizó 108 probetas de concreto en total (ver fig. 1.1).

El esquema general de la población (06 diseños de mezcla), es el siguiente:



**Figura 1** Esquema general de la población.  
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

Población que conforma los diseños:



- Diseño M-1 ( $100\%_C+0\%_{NS}$ ), 100% cemento + 0% nanosilice.
- Diseño M-2 ( $99\%_C+1\%_{NS}$ ), 99% cemento + 1% nanosilice.
- Diseño M-3 ( $98.5\%_C+1.5\%_{NS}$ ), 98.5% cemento + 1.5% nanosilice.
- Diseño M-4 ( $98\%_C+2\%_{NS}$ ), 98% cemento + 2% nanosilice.
- Diseño M-5 ( $97.5\%_C+2.5\%_{NS}$ ), 97.5% cemento + 2.5% nanosilice.
- Diseño M-6 ( $97\%_C+3\%_{NS}$ ), 97% cemento + 3% nanosilice.

#### 1.5.4.2 Muestra.

Para el proceso cuantitativo, la muestra es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006)

En nuestro caso la muestra estuvo conformada por probetas cilíndricas de concreto  $f'c= 350 \text{ kg/cm}^2$ , 18 de c/u del concreto patrón (dosificación sin nanosilice) y 18 c/u del concreto con nanosilice.

**Técnica de muestreo:** Para la selección de la muestra, empleamos el método probabilístico, específicamente el muestreo no aleatorio indicando que la muestra es igual a la población; es decir, las características son similares a las de la población objetivo. Para la elección del tamaño de la muestra se usa la proporción poblacional para una muestra finita, (Ver tabla N° 1).

**Tabla 1**  
**Resumen cantidad de muestras**

Concreto:		Resistencia a la compresión del concreto con respecto a 350 kg/cm <sup>2</sup>			Resistencia a la tracción por compresión	N° de briquetas
Cemento	Nanosílice	07 días	14 días	28 días	28 días	
100.0 % <sub>C</sub>	0.0 % <sub>NS</sub>	5	5	5	3	18
99.0 % <sub>C</sub>	1.0 % <sub>NS</sub>	5	5	5	3	18
98.1 % <sub>C</sub>	1.5 % <sub>NS</sub>	5	5	5	3	18
98.0 % <sub>C</sub>	2.0 % <sub>NS</sub>	5	5	5	3	18
97.5 % <sub>C</sub>	2.5 % <sub>NS</sub>	5	5	5	3	18
97.0 % <sub>C</sub>	3.0 % <sub>NS</sub>	5	5	5	3	18
Número total de muestras						108

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

La muestra probabilística es el subgrupo de la población en el que todos los elementos de esta tienen la misma posibilidad ser elegidos. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006)

Las cantidades hallados para cada uno de los ensayos de resistencia a compresión y tracción por compresión diametral del concreto son los obtenidos de las normas correspondientes por lo cual justifica la cantidad calculada para la población y muestra.

Para esta finalidad, se consideró las especificaciones de la Norma NTP 339.033 (ASTM C 31/ C 31M – 03a) - Práctica Normalizada para la preparación y curado de las probetas para ensayos de concreto y las recomendaciones del Comité ACI 318-08 requisitos de reglamento para concreto estructural, que en su inciso 5.6.2.4 nos indica textualmente: Un ensayo de resistencia debe ser el promedio de las resistencias de al menos dos (02) probetas de 6”(150mm)x12”(300mm) o de al menos tres (03) probetas de 4”(100mm)x8”(200mm), preparadas de la misma muestra de concreto. Para lo cual se ha considerado 5 probetas para las edades de 7, 14 y 28 días para la resistencia a compresión y 3 probetas para edades de 28 días para el ensayo a la tracción por compresión diametral.



## **1.5.5 Técnicas e instrumentos para recolección de datos.**

### **1.5.5.1 Técnica.**

Las principales técnicas que se utilizaron en este estudio fueron por observación directa, análisis de documentos, ensayos de probetas cilíndricas con y sin nanosilice.

- Toma de muestra.
- Granulometría: ASTM C-33/C33M-13 Agregado para concreto NTP 400.012  
Análisis granulométrico agregados gruesos y finos; NTP: 400.037 Análisis para agregado grueso.
- Ensayo de peso específico y absorción del agregado fino y grueso NTP 400.021, NTP 400.022, ASTM C 127 y ASTM C 128.
- Ensayo de contenido de humedad de los agregados NTP 400.016, ASTM C 566.
- Peso unitario del agregado fino y grueso NTP 400:017, ASTM C 29.
- Resistencia a la compresión NTP 339.034, ASTM C 39.
- Resistencia a tracción por compresión diametral NTP 339.084, ASTM C 496
- Asentamiento en el cono de Abrams NTP 339.035 – ASTM C143
- Peso unitario Indicador de prueba, Balanza digital. NTP 339.046 – ASTM C 138.

### **1.5.5.2 Instrumentos.**

Entre los instrumentos requeridos para llevar a cabo el presente estudio, se encuentran:

- Equipos de laboratorio (balanzas digitales, cono de Abrams, cilindros graduados y máquina de ensayo) e implementos utilizados para llevar a cabo los ensayos correspondientes (mezcladora, carretilla, molde y cuchara metálica, barra compactadora, moldes cilíndricos, entre otros).
- Planillas, cuadros para el registro de los resultados arrojados por los diversos ensayos efectuados.



### **1.5.6 Procedimiento de recolección de datos.**

La recolección de datos de la investigación se realizó en forma directa, la primera etapa a través del muestreo para luego llevarlos al laboratorio y la segunda etapa a partir de los diseños y ensayos de acuerdo a los procedimientos técnicos y normativos establecidos, en función al cronograma establecido del proyecto de tesis; así como las fechas de obtención de las probetas cilíndricas, fecha de los respectivos ensayos de resistencia a la compresión axial ASTM C 39 y resistencia a la tracción por compresión diametral ASTM C 496.

### **1.5.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

Para el procesamiento y análisis de los datos se utilizó equipos en laboratorio, Hoja de cálculo en Microsoft Office Excel 2013, tomando en cuenta que los datos obtenidos son variables cuantitativas.

#### **1.5.7.1 Técnica de procesamiento.**

- Para la investigación experimental se utilizaron las metodologías de ensayo: ASTM C39 y ASTM C 496 método de ensayo normalizado para resistencia a la compresión y tracción por compresión diametral de especímenes cilíndricos de concreto y formatos del laboratorio de construcciones.

#### **1.5.7.2 Análisis de los datos.**

Las variables de respuesta se evaluaron estadísticamente mediante la aplicación del método de la “t” de Student, para un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$  (5%), y un intervalo de confianza 0.95 (95%).

## **1.6. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.**

La variable independiente estudiada es el porcentaje de nanosílice como sustituto parcial en peso del cemento, también del concreto  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup>, y su influencia en la

resistencia a la compresión y costo unitario de materiales, siendo éstas las variables dependientes.

- Variable dependiente: resistencia a la compresión del concreto  $f'c$  350 kg/cm<sup>2</sup> y costo unitario de materiales.
- Variable independiente: porcentaje de nanosílice.

**Tabla 2**  
**Matriz de consistencia**

Definición del problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Factor a medir	Escala
¿En qué medida mejora la resistencia a la compresión del concreto $f'c=350$ kg/cm <sup>2</sup> con sustitución parcial del cemento por nanosílice en la ciudad de Puno y su costo unitario de producción?	Determinar la variación de la resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial del cemento por nanosílice en la ciudad de Puno y el costo unitario de producción.	La sustitución parcial del cemento por nanosílice, mejora la resistencia a la compresión del concreto $f'c=350$ kg/cm <sup>2</sup> en la ciudad de Puno permitiendo disminuir el costo unitario de producción.	<b>INDEPENDIENTE:</b> porcentaje de nanosílice	Porcentaje de Nanosílice con respecto al peso del cemento	Porcentaje de Nanosílice con respecto al peso del cemento	(99%C+1%NS) (98.5%C+1.5%NS) (98%C+2%NS) (97.5%C+2.5%NS) (97%C+3%NS)
			<b>DEPENDIENTE:</b> Resistencia a la compresión del concreto y costo unitario	Resistencia a la compresión del concreto con NS y costo unitario	$F'c=350$ kg/cm <sup>2</sup>	$F'c (NS) > F'c S/.$ $(NS) < S/.$

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES.

**Aguilar Mundaca (2007)**, En su trabajo de graduación “*Determinación de la influencia de las nanomoléculas de sílice en el concreto frente a un factor que afecta su durabilidad*”, realizada en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en la Universidad Austral de Chile, teniendo como Objetivo General. Determinar la influencia de las nano partículas de sílice en el concreto, en presencia de un agente que afecta la durabilidad de éste, realizando análisis físicos y químicos, superficiales y micro estructurales, por medio de experiencias en laboratorio. Cuyas principales conclusiones fueron:

- Las muestras con mayor contenido de nanosílice evidenciaron un comportamiento mejor en cuanto a que se vieron menos afectadas o alteradas física y químicamente por el agente agresivo solución de sulfato de sodio.
- Es posible establecer que gran beneficio que aportaría la mayor adición de nanosílice en cuanto a la durabilidad del concreto frente a la acción de un agente químicamente agresivo, es que obstaculiza y restringe su ingreso, rellorando los espacios vacíos independientemente del tamaño de estos (de la razón a/c), mejorando la morfología superficial del concreto y por ende la posibilidad de que la solución de sulfato penetre a través de los mecanismos de infiltración y ataque al concreto.
- Sería interesante continuar ésta línea de investigación y poder estudiar con mayor detalle, aumentando la cantidad de muestras, ambas etapas de acción de la nanosílice descritas anteriormente. Así como también establecer qué cantidad de nanosílice sería necesaria para que la muestra con a/c 0.65 iguale la resistencia al deterioro por ataque químico de una muestra con a/c 0.55 con adición cercana al



óptimo. Otra investigación es ver la acción del sulfato de magnesio en el concreto, ya que éste es un tipo de sulfato más agresivo que el utilizado en este trabajo y que además genera la formación de otro tipo de cristales. También es interesante ver qué ocurre con la resistencia a flexo-tracción y flexo-compresión de probetas con distintas adiciones de nanosílice que han sido sometidas a la acción de sulfatos. según este artículo se determina la influencia de las nanopartículas de sílice en el concreto a dos tipos de relación de agua-cemento (0.55 y 0.65), en presencia de un agente que afecta la durabilidad por agentes agresivos solución de sulfato de sodio, realizando análisis físicos y químicos, superficiales y microestructurales, por medio de experiencias en laboratorio. A las conclusiones que llega, que las muestras con mayor contenido de nanosílice evidenciaron un comportamiento mejor en cuanto se vieron menos afectadas o alteradas física y químicamente por el agente agresivo solución de sulfato de sodio.

**Vilca Aranda (2008)**, En su investigación titulada “*obtención del concreto de alta resistencia*”, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, cuyas principales conclusiones fueron:

- La resistencia a la compresión del concreto se incrementa conforme aumenta su edad: concreto patrón a los 28 días=100% ( $638.09 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Concreto patrón más aditivo superplastificante (1.2%) a los 90días= 127% ( $812.12 \text{ kg/cm}^2$ ).
- Concreto patrón más aditivo (1.5%) más microsílice (15%) a los 180 días 219% ( $1400.5 \text{ kg/cm}^2$ ).
- La alta resistencia a la compresión del concreto en estado endurecido se debe a una buena dosificación y al uso de un aditivo superplastificante más microsílice.





**Rocha Chiu (2009)**, En su investigación titulada “*Concreto de Alta Resistencia*” propuso como objetivo obtener la mayor resistencia a la compresión en concretos elaborados con materiales y equipo convencional, tal como se dispone en un laboratorio Universitario, tratando de reflejar condiciones semejantes a las de una obra de construcción. El propósito original fue economizar en el costo del concreto y de hacer accesible el procedimiento de mezclado en este tipo de circunstancias. En primer término, se realizaron las pruebas a los materiales de cada uno de los componentes del concreto que cumplieran con las características deseadas y la verificación del valor de sus propiedades mediante las pruebas correspondientes en laboratorio o en las especificaciones del fabricante. Se usó aditivo como la microsíllice, El empleo de la dosificación base, de la técnica de mezclado y el control de la granulometría y lavado del agregado grueso permitió incrementar la resistencia a la compresión en 25 por ciento sobre la mezcla base original. Segunda etapa. En esta fase del proyecto se decidió emplear cemento Portland puzolana y cemento blanco, grava y arena de origen basáltico, microsíllice y aditivo químico reductor de alto rango. Se aprecian de manera sintetizada los progresos alcanzados en la resistencia conforme se fueron variando los procedimientos de mezclado y la composición de la mezcla.

**Huincho Salvatierra (2011)**, En su investigación titulada “*Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsíllice y nanosíllice con cemento portland tipo I*” se propuso como objetivo realizar el estudio de los concretos de alta resistencia preparados con microsíllice (sika fume), nanosíllice (sika stabilizer 100) y Superplastificante (viscocrete 20he) usando cemento portland tipo I. las conclusiones a las que llegó fue:

- Que la dosis óptima de microsíllice es de 10% con la cual se obtiene la máxima resistencia a la compresión de 1420 kg/cm<sup>2</sup>, para el caso de la nanosíllice es de 1%



con una resistencia a la compresión de  $968 \text{ kg/cm}^2$  y para el caso de la combinación de la microsílíce con la nanosílíce es de 5% de microsílíce más 0.5 de nanosílíce que resultó una resistencia a la compresión de  $1065 \text{ kg/cm}^2$ .

- Que los concretos con adiciones de microsílíce (10, 15, 20%), reportan resistencias a la compresión superiores a los concretos con adición de nanosílíce (1.0, 1.5 y 2.0%), sin embargo la adición de nanosílíce incrementa también la resistencia a la compresión del concreto pero no en la misma magnitud que la microsílíce, su ventaja es su estado líquido y también su uso de bajas dosis menores al 1%.

**Escobedo Portal (2014)**, En su investigación titulada *“Incidencia de la nanosílíce en la resistencia mecánica de un concreto de alta resistencia con cemento portland tipo I”* La presente investigación estudia los concretos de alta resistencia preparados con diferentes tratamientos de nanosílíce (GAIA NANOSILICE) (0.5%; 1.5%; 3.0%), en base a un concreto patrón (C.P) diseñada con un superplastificante (SIKAMENT 290N) en una dosis del 1% en peso de cemento, el objetivo principal fue determinar en cuanto incrementa la resistencia mecánica a la compresión las diferentes dosis de nanosílíce adicionadas con base al concreto patrón. Los resultados obtenidos fueron que a la edad de 7 días el concreto con adición de 1.5% de nanosílíce alcanzó la resistencia máxima de  $f'c=619.97 \text{ kg/cm}^2$  y a los 28 días un  $f'c=785.30 \text{ kg/cm}^2$ , siendo el incremento con respecto al C.P de un 15%, la resistencia seguirá incrementándose hasta los 90 días por ser un concreto de alta resistencia. Se concluye que la dosis óptima de nanosílíce es de 1.5%, ya que con el 0.5% no hubo aumento de la resistencia y con el 3.0% hubo un aumento, pero significativo, esto debido a la segregación en la mezcla por ser muy fluida. Se presentan también el diseño con las adiciones de nanosílíce (0.5%,



1.5%, 3.0%) y la determinación de las propiedades del concreto en estado fresco como endurecido.

**Villanueva Sánchez (2015)**, publicó su tesis sobre "Obtención de un concreto de alta resistencia para un  $f_c=800 \text{ kg/cm}^2$  usando agregados de la cantera el chiche - Cajamarca, aditivos y adición mineral", de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, cuyo Objetivo General fue, lograr el diseño de una mezcla de concreto de alta resistencia a la compresión, cuyo  $f_c=800 \text{ kg/cm}^2$  o mayor, utilizando agregados de las canteras de Cajamarca y aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce.

Las conclusiones a las que llegó sobre la influencia del porcentaje de los aditivos en las propiedades de concreto.

- En el presente estudio después de su ejecución se llegaron a las siguientes:
  - 1.- Se logró obtener un diseño de mezclas apropiado y óptimo para lograr el concreto cuyo fue  $f_c = 800 \text{ kg/cm}^2$ .
  - 2.- Se logró adicionalmente obtener un incremento de resistencia mecánica a la compresión a los 28 días del 17% ( $941.94 \text{ kg/cm}^2$ ) con 1.0% de sikament 290, 5% de sikafume y 1% de gaia nanosilíce.
  - 3.- Se logró también determinar la influencia del superplastificante micro y nano sílice en obtención de los concreto de alta resistencia.
  - 4.- Además también se llegó a la conclusión de que para llegar a una resistencia de  $f_c= 800 \text{ kg/cm}^2$  es mejor utilización del superplastificante sikament 290N, debido a que llega a la resistencia deseada a un costo mucho menor a comparación de cuando se utilizó tanto el micro y el nanosilíce.
  - 5.- Los agregados usados reúnen las propiedades físico-mecánicas adecuadas exigidas y necesarias para la elaboración de este tipo de concreto especial.



6.- La dispersión de valores de resistencia y módulo de elasticidad obtenida es mínima lo que permite afirmar que el grado de confiabilidad de los resultados es aceptable.

- Se logró determinar la influencia del porcentaje de aditivo en las propiedades del concreto, obteniéndose superplastificante de 1.0%, microsilice 10% y de nanosilice 2.0% del peso del cemento, como el porcentaje que generó la mayor resistencia del concreto elaborado ( $941.94 \text{ kg/cm}^2$  a los 28 días de edad), así como el máximo valor de su módulo de elasticidad ( $370873.58 \text{ kg/cm}^2$ )
- En estado fresco cumplió con los requerimientos de trabajabilidad y asentamiento con un incremento de 1.2 pulgadas, lográndose una mezcla más trabajable, sin la presencia de exudación ni segregación y con una apariencia equilibrada).
- Del tratamiento estadístico de los resultados de resistencia a los 7 días, se deduce que los tres tipos de probetas ensayadas, tienen una mínima dispersión de valores lo que significa que tienen la misma tendencia y su diferencia es pequeña, se agrupan estadísticamente en un mismo grupo.

Sobre los análisis de resistencia, módulo de elasticidad y modo de falla.

- A los 28 días de edad de las probetas, se observa claramente que las elaboradas con el concreto que contiene de superplastificante 1.0%, microsilice 10% y de nanosilice 2.0% del peso del cemento son las que alcanzan el mayor valor de resistencia a la compresión.
- La variación de los valores del módulo de elasticidad, sigue la misma variación que el de la resistencia, es decir con la edad del concreto así como la cantidad del superplastificante reductor de agua.
- El modo de falla del concreto con aditivo, fue súbito, lo que demuestra que, el aditivo usado influye en el tipo de ruptura del concreto de alta resistencia, efecto



que se tendrá en cuenta en el diseño estructural de los elementos vaciados con este tipo de material.

**Molina Villar & Chara Surco (2017)**, En su investigación titulada *“Influencia de la adición de nanosilice en las propiedades de un concreto de alta resistencia para la Ciudad de Arequipa”*, tiene como objetivo principal establecer la influencia del uso del aditivo nanosilice en las propiedades del concreto fresco y endurecido.

Para esto, se propuso diseñar mezclas de concreto según la metodología propuesta por el ACI 211.4 para las resistencias a la compresión de 420, 500, 600 y 700 kg/cm<sup>2</sup>, utilizando tres tasas de dosificación de aditivo nanosilice de 0.8%, 1.0% y 1.2% en peso de cemento para cada resistencia, y tomando en cuenta parámetros como por ejemplo el revenimiento en el rango de 6 a 9 pulgadas para los concretos con aditivo y de 1 a 2 pulgadas para los concretos patrón (sin aditivo), que sirvan para establecer propiedades del concreto como su trabajabilidad y consistencia.

Para definir las dosificaciones de aditivo nanosilice se usó la recomendación del fabricante que establecía un rango de 0.8% a 1.2% y las dosificaciones de los agregados se partió según la metodología de diseño del comité ACI 211.4, se realizaron mezclas de prueba para definir el porcentaje de reducción de agua de mezclado que genera el aditivo nanosilice, considerando la trabajabilidad de estas.

Después de tener las dosificaciones adecuadas, se procedió al preparado de cada una de estas, realizando los siguientes ensayos al concreto en estado fresco: revenimiento (slump), contenido de aire, temperatura y peso volumétrico; posteriormente se realizaron ensayos al concreto en estado endurecido: resistencia a la compresión a 7, 14 y 28 días de edad; y la resistencia a la tracción por compresión diametral a los 28 días de edad. Finalmente se obtuvo la dosificación más óptima de aditivo nanosilice el cual varía según la resistencia de diseño:



- Para  $420 \text{ kg/cm}^2$  el contenido óptimo es 0.80% logrando resistencia de  $670.98 \text{ kg/cm}^2$ .
- Para  $500 \text{ kg/cm}^2$  el contenido óptimo es 0.80% logrando resistencia de  $721.54 \text{ kg/cm}^2$ .
- Para  $600 \text{ kg/cm}^2$  el contenido óptimo es 1.0% logrando resistencia de  $756.22 \text{ kg/cm}^2$ .
- Para  $700 \text{ kg/cm}^2$  el contenido óptimo es 1.0% logrando resistencia de  $788.33 \text{ kg/cm}^2$ .

**Pachacutec Gutierrez & Vilca Salazar (2018)**, En su investigación titulada, “Estudio comparativo de la determinación de propiedades de resistencia en el concreto utilizando micro y nanosílice con agregado de la cantera Cutimbo - Puno”, La presente investigación tendrá como foco de estudio la comparación del microsilice y nanosilice con respecto a un concreto patrón con un mismo agregado, ver las propiedades de resistencia, análisis de costos con microsilice y nanosilice, para luego aplicar en edificaciones de elevados niveles en la región de Puno también en obras ejecutadas por instituciones públicas, es la razón que realizamos esta investigación, también con cuál de ellos es mejor optar, por el tema de propiedades de resistencia, costos y como objetivo principal es determinar y comparar las propiedades de resistencia del concreto utilizando microsilice y nanosilice con agregado de la cantera Cutimbo, la microsilice y nanosilice es uno de los productos que la tecnología brinda como alternativa para la obtención de mayor resistencia, calidad y durabilidad en el concreto que garantiza el buen desempeño estructural de las obras civiles durante su vida útil. Los resultados indican que las resistencias a la compresión incrementan en 45.71%, 59.83% y 54.28% incorporando microsilice en 5%, 10% y 15% y resistencia a la compresión incrementan en 41.78%, 50.40% y 51.32% incorporando nanosilice en 0.5%, 1% y 1.5%. Se usó cemento portland



puzolánico tipo IP, relación agua es 0.4. El diseño se basa por la guía ACI 211.1 para concreto. Y como conclusión la resistencia más alta obtenida a la compresión en 28 días es  $570.95 \text{ kg/cm}^2$  con microsilice de 10% y con nanosilice de 1.5 % es  $540.54 \text{ kg/cm}^2$ , finalmente se realizó un análisis de costos de producción con las resistencias obtenidas con aditivo para lo cual se hizo el diseño para las resistencias en la cual disminuye en costo en 37.19% ,41.31% y 38.38%, con nanosilice 0.5%,1%y1.5% y 7.82, 9.66% y 21.44% con microsilice en 5%,10% y 15%.

## **2.2. NANOSÍLICE GAIA.**

La nanosílice está constituida por partículas de tamaño nanométrico (decenas de nanómetros) compuesto mayoritariamente por  $\text{SiO}_2$ , posee propiedades puzolánicas que en reacción con los componentes hidratados del cemento mejoran sus propiedades.

A través de la reacción de las partículas de nanosílice con el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (portlandita o CH) y del aceleramiento del proceso de hidratación, este C-S-H (gel) llena los espacios vacíos para mejorar la densidad, la cohesión y la impermeabilidad, mejorando la integración y estabilidad de los productos de hidratación, esto a su vez incrementa la resistencia. (Li, 2006).

“El desarrollo de la nanosílice se hace posible gracias a la estabilización y refuerzo de propiedades de la materia a un nivel mil veces más pequeño que el nivel micro (nanotecnología) ” (Hortelano, 2013).

### **2.2.1. Propiedades físicas de la nanosílice.**

Estas propiedades son diametralmente opuestas a la microsilice, se presentan entre ellas diferencias como el color del material, el tamaño de las partículas, estado del material (la microsilice se presenta en polvo y la nanosílice como un líquido levemente viscoso).

### 2.2.2. Propiedades químicas de la nanosílice.

La composición química específica de este producto ha sido guardada con recelo por sus creadores, pero considerando que la nanosílice es sílice amorfa y participa en las reacciones puzolánicas, se puede deducir que al igual que la microsílice que la nanosílice está formada principalmente de dióxido de silicio. (Ríos López, Nanosílice, 2013)

**Tabla 3**

**Resumen propiedades físicas y químicas de la nanosílice según el fabricante**

<b>Propiedades Químicas y Físicas de la Nanosílice</b>	
Aspecto	Líquido levemente viscoso
Color	Blanco opalescente
Olor	Característico
Densidad	$1.030 \pm 0.02$ g/ml
Sólidos	$15 \pm 1.8$ %
Solubilidad	Totalmente soluble en agua
Vida útil	6 Meses en envase cerrado y lugar fresco

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

### 2.2.3. Beneficios obtenidos usando nanosílice.

La nanosílice gracias a sus características físicas y químicas mejora significativamente las propiedades del hormigón fresco como endurecido, además de beneficios medioambientales. (Ríos López, Nanosílice, 2013, pág. 10)

### 2.3. EL CONCRETO.

Siendo el concreto objeto de estudio de la presente tesis, es necesario conceptualizarlo, así como también los factores que afectan su desarrollo y las propiedades del mismo.





El concreto es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia. (Abanto Castillo, 1995).

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo, algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto. (Abanto Castillo, 1995).

### **2.3.1. Componentes del concreto.**

#### **2.3.1.1. Cemento.**

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de fraguar y endurecer, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. (Rivva López, 2010).

#### **2.3.1.2. Agregados.**

El concreto está conformado por una pasta de cemento y agua en la cual se encuentran embebidas partículas de un material conocido como agregado el cual ocupa del 65% al 80% del volumen de la unidad cubica de concreto. (Rivva López, 2010).

Los agregados también son llamados áridos, que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros, es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta cemento.

Se clasifican en:

- Agregados Finos.
- Agregados Gruesos.



Hormigón: corresponde a mezcla natural de Grava y Arena, este agregado se utiliza para preparar un concreto de baja calidad como el empleado en cimentaciones corridas, falsos pisos, falsas zapatas, calzaduras, algunos muros, etc. Al emplear el hormigón en la elaboración del concreto este deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas blandas o escamosas, sales, álcalis, materia orgánica u otras sustancias dañinas para el concreto. (Abanto Castillo, 1995).

Si se emplea, con autorización del proyectista, el agregado integral denominado “Hormigón” deberá cumplirse con lo indicado en el acápite 3.2.12 de la Norma Técnica E.060. (Rivva Lopez, 2000).

#### **2.3.1.3. Agregado fino.**

Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas, que pasan por el tamiz 3/8” (9.52mm) y que es retenida en el tamiz N°200 (0.074mm) NTP400.037. (Abanto Castillo, 1995).

Sin embargo, el manual de ensayo de materiales (EM 2000) del MTC E 204-2000, el cual está basado según a las normas ASTM 136 y AASHTO T 27, los mismos que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad. Este manual indica que para mezclas de agregados gruesos y finos la muestra será separado en dos tamaños, por el tamiz 4.75mm (N°4). Por lo tanto, para la presente investigación, se manejará al tamiz N°4 para separar el agregados grueso y fino.

#### **2.3.1.4. Agregado grueso.**

Es el agregado que queda retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o ASTM C33. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada. etc.

### 2.3.1.5. Agua.

El agua que debe ser utilizada para la producción de concreto debe satisfacer los requisitos de la norma NTP 339.088, y ASTM C 109M. Considerándose como referente principal, la idoneidad del agua potable.

## 2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO.

### 2.4.1. Propiedades en estado fresco.

#### 2.4.1.1. Trabajabilidad.

La consistencia está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua utilizada, el equipo necesario para realizar la consistencia del concreto consiste en un tronco de cono, los dos círculos de las bases son paralelos entre si midiendo 20 cm y 10 cm los diámetros respectivos, la altura del molde es de 30 cm. (Abanto Castillo, 1995).

**Tabla 4**  
**Consistencia de mezcla de concreto**

Consistencia	Slump	Trabajabilidad	Método de Compactación
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración Normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración Ligera
Fluida	Mayor a 5"	Muy Trabajable	Chuseado

Fuente: Flavio Abanto Castillo, "Tecnología del concreto", Pág. 49

Para medir la trabajabilidad de las mezclas se utilizará la prueba de revenimiento, o asentamiento en el cono de Abrams, siguiendo la norma ASTM C 143.

### 2.4.2. Propiedades en estado endurecido.

#### 2.4.2.1. Resistencia a la compresión.

La resistencia a la compresión puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga axial. Esta se determina de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C39.



Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo  $f' c$ . Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas de mortero o de concreto.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación a/c y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. (Rivera Quio, 2014)

#### **2.4.2.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral.**

La resistencia a la tracción por compresión diametral puede ser definida como la máxima medida de resistencia que ofrece un espécimen de concreto a una carga de compresión diametral en el sentido longitudinal de una probeta cilíndrica. Esta se determina de acuerdo a lo estipulado en la norma ASTM C 496.

Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado ( $\text{Kg}/\text{cm}^2$ ) a una edad de 28 días se le designe con el símbolo  $f' c$ . Para determinar la resistencia a la tracción por compresión diametral, se realizan pruebas ya sea en forma de cilindros moldeados y/o núcleos taladrados.

#### **2.5. CONCRETOS DE ALTA RESISTENCIA.**

Según National Ready Mixed Concrete Association (US) el concreto de alta resistencia es un tipo de concreto (hormigón) de alto desempeño, que comúnmente tiene una resistencia a la compresión especificada de 40 Mpa ( $400 \text{ kg}/\text{cm}^2$ ) o más. La resistencia a la compresión se mide en cilindros de prueba de 6" x 12" (150 x 300 mm) o de 4" x 8" (100 x 200 mm), a los 56 o 90 días por lo general, o alguna otra edad especificada dependiendo de su aplicación.

La producción de concreto de alta resistencia requiere un mayor estudio, así como un control de calidad más exigente en comparación con el concreto convencional. (Association Concrete National Ready Mixed, pág. 1)



### **2.5.1. Aplicaciones del concreto de alta resistencia.**

Debido a la evolución en los diseños de las estructuras y en los procesos constructivos, ha aumentado el uso en concretos de alta resistencia, ya que estos han proporcionado la solución más adecuada a muchos problemas; entre las principales aplicaciones de este tipo de concreto tenemos:

- Construcción de edificios altos, reduciendo la sección transversal de las columnas, aumentando así el área útil.
- Para la construcción de elementos prefabricados con solicitaciones diferentes a los concretos usados convencionalmente.
- Para poner en servicio elementos estructurales (vigas, columnas, losas, etc.) en menor tiempo, principalmente en carreteras.
- En la edificación de superestructuras como puentes con largos claros, mejorando la calidad de los elementos.
- para satisfacer necesidades específicas en aplicaciones especiales como: durabilidad, módulo de elasticidad y resistencia a la compresión y flexión, para edificar estructuras como: presas, cubiertas de graderías, cimentaciones marinas, estacionamientos, pisos industriales de tráfico pesado, etc. (Molina Villar & Chara Surco, 2017, pag. 19)

### **2.5.2. Ventajas de uso.**

- Permite una mayor rotación de encofrados y menos tiempo de uso.
- Se pueden diseñar menos secciones estructurales, con ahorro en áreas de construcción.
- Permite disminuir cuantías de refuerzo en los diseños.
- Ideal para sistemas industrializados.
- Mayor resistencia a la erosión.



- La estructura tiene un menor costo versus otros diseños en acero. (Association Concrete National Ready Mixed)

### **2.5.3. Tipos.**

Existen dos tipos de concretos de alta resistencia:

#### **2.5.3.1. Concreto de alta resistencia final**

Según National Ready Mixed Concrete Association (US) cuando se necesita una resistencia a la compresión, medida en probetas cúbicas o cilíndricas normalizadas, de acuerdo a normas correspondientes a cada país, ensayadas a 28 días, superior a 500 kg/cm<sup>2</sup>.

#### **2.5.3.2. Concreto de alta resistencia inicial**

Cuando se necesita una resistencia temprana mayor a la normal, en edades inferiores a 28 días. (Association Concrete National Ready Mixed)

## **2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.**

### **2.6.1. Análisis estadístico.**

El análisis estadístico es de importancia en la evaluación de los resultados obtenidos porque nos permite tener certeza de la confiabilidad de los valores extraídos de las pruebas y en función a los parámetros estadísticos poder evaluar los resultados.

Para tener la confiabilidad de los datos se ha considerado evaluar los resultados de resistencia a la compresión, con los parámetros del coeficiente de variación y desviación standard, en función a la tabla 5.

**Tabla 5**  
**Coefficiente de variación y desviación estándar**

Dispersión total					
Clase de operación	Desviación estándar para diferentes grados de control (kg/cm)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	menor a 28.1	28.1 a 35.2	35.2 a 42.2	42.2 a 49.2	mayor a 49.2
Concreto en laboratorio	menor a 14.1	14.1 a 17.6	17.6 a 21.1	21.1 a 24.6	mayor a 24.6

Dispersión entre testigo					
Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes Grados de control (%)				
	Excelente	Muy bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	menor a 3	3 a 4	4 a 5	5 a 6	mayor a 6
Concreto en laboratorio	menor a 2	2 a 3	3 a 4	4 a 5	mayor a 5

Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto, Ing. Enrique Pasquel Carvajal.

### 2.6.2. Definiciones de conceptos estadísticos.

A continuación, definiremos los elementos estadísticos y empezaremos según como se desarrolló el análisis estadístico:

**Rango de datos (R):** Llamado también recorrido de los datos, el rango es la diferencia entre el máximo y mínimo valor de un conjunto de datos.

$$R_X = X_{MAX} - X_{MIN}$$

**Número de intervalos de clase (K):** Este valor está relacionado con la cantidad de datos (n) de la muestra y generalmente se calcula con una regla de Sturges definida por:

$$K = 1 + 3.3 * \text{Log}(n)$$

**Tamaño de intervalos de clase (C):** Para efectos de hallar la longitud o tamaño de los intervalos de clase de igual tamaño utilizamos la siguiente relación:

$$C = \frac{R_X}{K}$$

**Determinación de los intervalos de clase:** El valor más bajo de los datos es considerado como el límite inferior del primer intervalo de clase, para luego agregar el ancho de clase

y de esta manera obtener el límite superior de la primera clase repitiéndose esta operación

K veces, es decir:

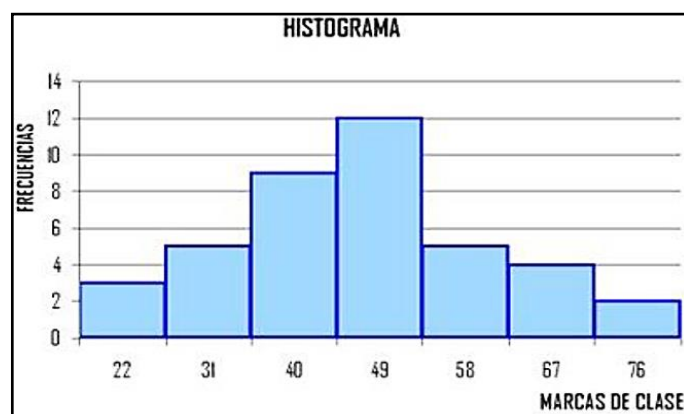
$$I_1 = [L_i, L_s)$$

$$L_1 = X_{MAX} \quad y \quad L_2 = X_{MIN} + C$$

**Marcas de clase:** Las marcas de clase son los puntos medios de cada intervalo de clase:

$$X_i = \left[ \frac{L_i + L_s}{2} \right]$$

**Histograma de frecuencias:** Un histograma de frecuencias es una representación gráfica de barras o rectángulos continuos, cuyas bases son los límites reales de clase y las alturas están dadas por las frecuencias absolutas ( $f_i$ ) o relativas ( $h_i$ ) estas pueden ser representadas gráficamente de la siguiente manera:



**Figura 2** Histograma de frecuencias.

**Frecuencia absoluta de clase ( $f_i$ ):** Se denomina así al número de observaciones o datos que pertenecen a cada intervalo de clase, lo cual generalmente es determinado mediante la tabulación de los datos.

**Frecuencia Absoluta Acumulada de Clase ( $F_i$ ):** Es la sumatoria de las frecuencias absolutas de clase en cada intervalo de clase

**Percentiles:** Son los 99 valores que dividen en 100 partes iguales a una serie de puntuaciones ordenadas.





$$P_r = Li + \left[ \frac{\frac{r * n}{100} + F_{i-1}}{f_i} \right] * C_i$$

Donde:

$L_i$ : Límite inferior de la clase donde se encuentra el percentil.

$n$ : Es la suma de las frecuencias absolutas.

$f_i$ : Es la frecuencia absoluta de la clase del percentil.

$F_{i-1}$ : Es la frecuencia acumulada anterior a la clase del percentil.

$C_i$ : Es la amplitud de la clase.

### 2.6.2.1. Medidas de variación o dispersión.

Las medidas de variación o dispersión están relacionadas con las medidas de tendencia central, ya que lo que pretende es cuantificar como de concentrados o dispersos están los datos respecto a estas medidas. Nos limitaremos a dar medidas de dispersión asociadas a la media.

**La media aritmética:** es el promedio aritmético de todos los resultados de los ensayos.

$$\bar{X} = \frac{f_1 * X_1 + f_1 * X_2 + f_1 * X_3 + \dots + f_1 * X_n}{n}$$

**Mediana:** La segunda medida de tendencia central de un conjunto de números es la mediana. Su característica principal es que divide un conjunto ordenado en dos grupos iguales; la mitad de los números tendrá valores que son menores que la mediana, y la otra mitad alcanzará valores mayores que ésta. Para encontrar la mediana primeramente es necesario ordenar los valores (generalmente de menor a mayor). Posteriormente se deberá separar la mitad de los valores para obtener la mediana.

$$\bar{X}_m = L_m + \left[ \frac{\frac{n}{2} - F_{m-1}}{f_m} \right] * C_m$$

Dónde:

$L_m$ : Límite inferior del intervalo de clase de la Mediana.

n: Número total de datos.

$F_{m-1}$ : Frecuencia acumulada del intervalo de clase que antecede al intervalo de la

Mediana.

$f_m$ : Frecuencia absoluta del intervalo de clase de la Mediana.

$C_m$ : Ancho del intervalo de clase de la mediana.

**Moda:** La moda es una mediana de tendencia central que indica cuál es la puntuación, categoría o modalidad que más se repite en el conjunto de medidas.

$$\bar{X}_o = L_o + \left[ \frac{F_o - F_{o-1}}{(F_o - F_{o-1}) + (F_o - F_{o+1})} \right] * C_m$$

Donde:

$L_o$ : Extremo inferior del intervalo modal (intervalo que tiene mayor frecuencia absoluta).

$F_o$ : Frecuencia absoluta del intervalo modal.

$F_{o-1}$ : Frecuencia absoluta del intervalo anterior al modal.

$F_{o+1}$ : Frecuencia absoluta del intervalo posterior al modal.

$C_m$ : Ancho del intervalo de clase de la mediana.

**La varianza:** cuando la población es finita y está formado por n valores, la varianza se define como:

$$\sigma^2 = \frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n - 1}$$

**La desviación estándar:** es la raíz cuadrada de la varianza y nos indica que tan dispersos están los resultados de la media aritmética.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{X})^2 + (x_2 - \bar{X})^2 + \dots + (x_n - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

**El Coeficiente de Variación:** es la división entre la desviación estándar y la media aritmética de las muestras, expresado en porcentaje. También conocida como coeficiente

de variación existente entre la desviación estándar y la media, esta medida indica que entre mayor porcentaje de variación es mayor la dispersión.

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{X}} * 100 \%$$

### 2.6.2.2. Distribución normal.

La distribución normal es la piedra angular de la teoría estadística moderna, es utilizada para describir el comportamiento aleatorio de muchos procesos que ocurren en la naturaleza y acciones de los humanos.

Si graficáramos los resultados de laboratorio de las pruebas a compresión de una cantidad significativa de muestras de concreto, los resultados numéricos de estas, formarían un patrón que se agrupan alrededor de un valor central o gráfico de distribución normal o más conocido como campana de Gauss (ver figura 2.2). Es por eso que la distribución normal encaja adecuadamente para hacer análisis de confiabilidad y control de calidad del concreto.

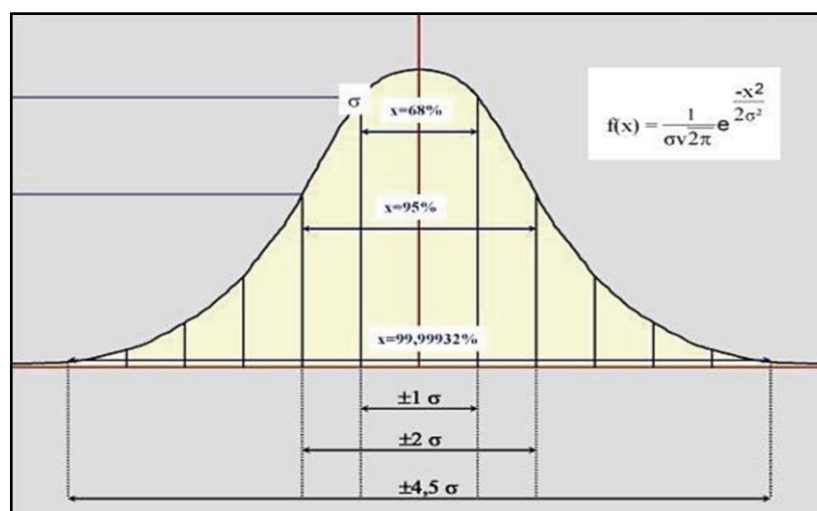


Figura 3 Distribución de Gauss.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{X})^2}{2\sigma^2}}$$

$\sigma$ : Desviación Estándar, es una medida de dispersión de la resistencia a la compresión  $f'_c$  alrededor de la media.



$x$ : Variable Aleatoria, (f'c de cada prueba).

$\bar{X}$ : Media, nos proporciona una idea del lugar donde están concentrados los valores que toma la variable  $x$  (f'c de cada prueba).

$\sigma^2$ : Varianza, expresa cualitativamente la dispersión alrededor de la media, mide la variabilidad alrededor de la media.

### 2.6.2.3. Medidas de forma de la distribución.

Existen dos medidas importantes en la estadística, el coeficiente de asimetría mide como se distribuyen los datos en torno de la media aritmética y la cúrtosis mide la deformación vertical (grado de apuntalamiento) de los datos.

Estas medidas son importantes te permite determinar si la distribución de frecuencias se aproxima a la distribución normal, la cual es la base de la inferencia estadística.

Entonces debemos calcular el coeficiente de asimetría y cúrtosis de una distribución de frecuencias, para determinar si el grupo de datos se aproxima a la distribución normal.

**Coefficiente de Pearson ( $A_S$ ):** Dados los valores de la mediana y los percentiles 10, 25, 75 y 90 el segundo coeficiente de Pearson está definido por:

$$A_S = \frac{P_{75} + P_{25} - 2\bar{X}_m}{P_{75} - P_{25}}$$

Los coeficientes de asimetría se interpretan del siguiente modo:

Si  $A_S=0$ : Entonces los datos se distribuyen en forma simétrica tal como se muestra en la fig. 4.

Si  $A_S>0$ : Entonces los datos son sesgados hacia la derecha tal como se muestra en la fig. 4.

Si  $A_S<0$ : Entonces los datos son sesgados hacia la izquierda tal como se muestra en la fig. 4.

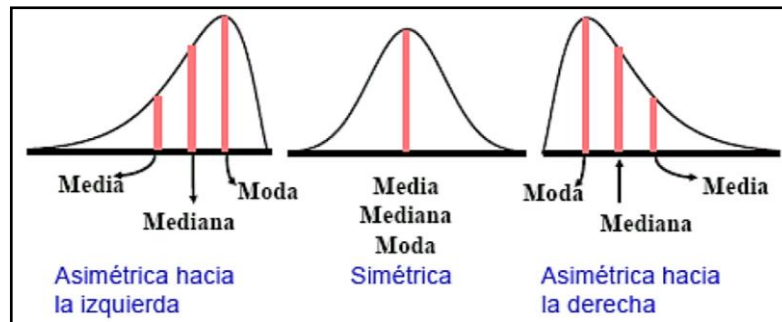


Figura 4. Formas típicas de distribuciones de datos.

**Coefficiente de cúrtosis o agudeza:** El coeficiente de Curtosis es una medida que calcula la deformación vertical (apuntalamiento) de una distribución de frecuencias correspondiente al conjunto de datos. El coeficiente de Curtosis está definido por:

$$K = \frac{P_{75} - P_{25}}{2 * (P_{90} - P_{10})}$$

La interpretación que se le da al coeficiente de Curtosis o apuntalamiento es la siguiente:

- Si  $K < 0.263$ : La curva se denomina LEPTOCÚRTICA en este caso la amplitud de la variable es pequeña y la mayoría de las observaciones se hallan en el centro de la distribución como se muestra en la figura 5.
- Si  $K = 0.263$ : La curva se denomina MESOCRÁTICO en este caso los datos se encuentran regularmente dispersos y la amplitud de los datos es relativamente mayor que en el caso anterior como se muestra en la figura 5.
- Si  $K > 0.263$ : La curva se denomina PLATICÚRTICA
- en este caso los datos se encuentran dispersos en todos los intervalos y su amplitud o rango tiende al infinito como se muestra en la figura 5.

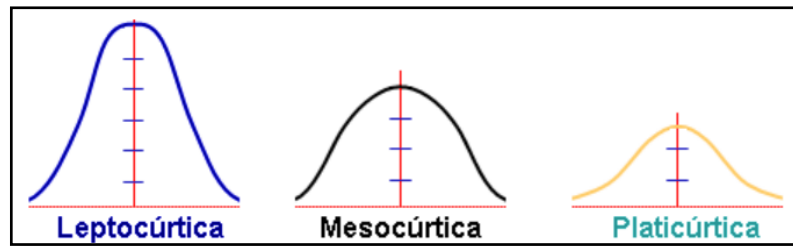


Figura 5. Formas típicas del coeficiente de cúrtosis.

#### 2.6.2.4. Distribución T de Student.

Se utiliza para detectar la existencia de diferencias significativas entre las medias de una determinada variable cuantitativa en dos grupos de datos.

##### Requisitos.

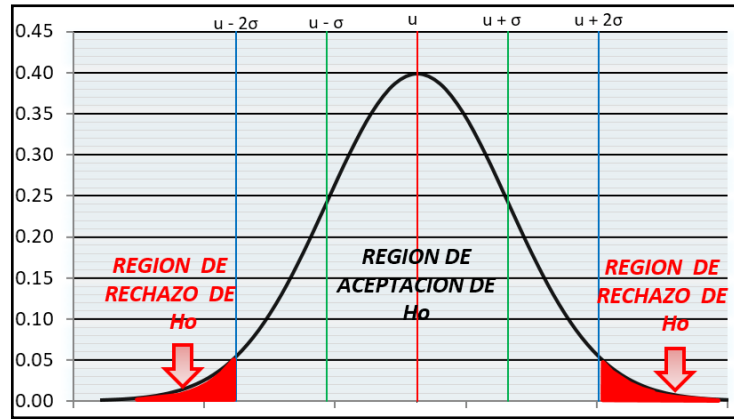
- Datos distribuidos según una distribución normal en cada grupo.
- Las varianzas de las dos muestras han de ser iguales.
- Muestras independientes y menores a 30.

Las hipótesis pueden ser de:

##### Hipótesis de dos colas.

Recibe también el nombre de prueba bilateral, debido a que es importante detectar diferencias a partir del valor hipotético de la media  $\mu_0$  que se encuentre en cualquier lado de  $\mu_0$ . en una prueba de este tipo, la región crítica se separa en dos partes, con (usualmente) la misma probabilidad en cada cola de la distribución de la estadística de prueba.

$$H_1: \mu_{\bar{X}_{NS}} \neq \mu_{\bar{X}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{X}_{NS}} = \mu_{\bar{X}_C}$$



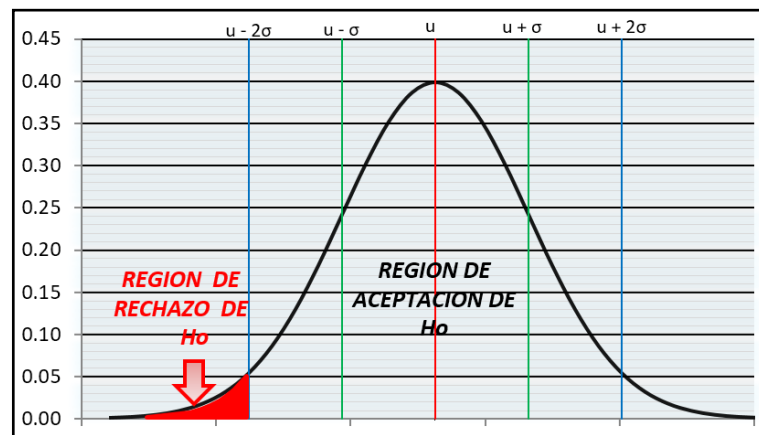
**Figura 6.** Curva de distribución para hipótesis de dos colas.  
Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution.

### Hipótesis de una cola

La hipótesis establece que existen diferencias entre las medias de los grupos considerados, presuponiendo que una de las dos medias es mayor que la otra.

La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre dichas medias, o que las diferencias van en sentido contrario a como han sido expresadas en la hipótesis.

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{NS}} > \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{NS}} \leq \mu_{\bar{x}_C} \quad \text{o} \quad H_1: \mu_{\bar{x}_{NS}} < \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{NS}} \geq \mu_{\bar{x}_C}$$



**Figura 7.** Curva de distribución para hipótesis de una cola a la derecha.  
Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

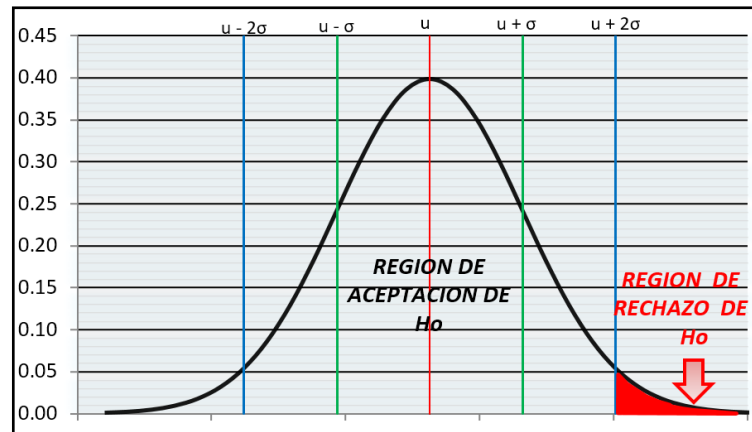


Figura 8. Curva de distribución para hipótesis de una cola a la izquierda.

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution.

**Procedimiento de cálculo:** El estadístico de prueba para una distribución t-student con  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad es el siguiente:

$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}; \quad S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Donde:

- $n_1$  y  $n_2$ : Tamaños de las muestras 1 y 2 respectivamente.
- $\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$ : Medias de las muestras 1 y 2 respectivamente.
- $\sigma_1^2$  y  $\sigma_2^2$ : Varianzas de las muestras 1 y 2 respectivamente.

A continuación, se mide la significación del estadístico  $t_p$ , comparando ese valor con el valor de un estadístico  $t_{tabla}$  que se obtiene mirando las tablas correspondientes (ver anexo F-1).

Para identificar el  $t_{tabla}$  que nos corresponde hemos de fijarnos en el número de colas que tiene nuestra hipótesis (una cola o dos colas), en el nivel de significación ( $\alpha$ ) con el que pretendemos rechazar la hipótesis nula; y en los grados de libertad del test ( $n_1 + n_2 - 2$ ).

- Si  $t_p \geq t_{tabla} \rightarrow$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$  (las medias son diferentes).



- Si  $t_p < t_{tabla} \rightarrow$  se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$  (las medias son iguales) (Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología. , 2005).

### 2.6.3. Prueba de hipótesis.

Para poder obtener conclusiones respecto a una población es necesario acudir a la estadística inferencial, que en función a estimadores como son: la desviación estándar, la media, mediana, moda, etc., y técnicas: la prueba de hipótesis y la estimación de parámetros; nos permiten inferir sobre las características de la misma.

La hipótesis en la estadística es una proposición que hace el investigador en base a uno o varios parámetros que permiten que ésta sea aceptada o rechazada respecto a un solo número (estimador puntual), todo el procedimiento de toma de decisiones sobre la hipótesis se llama “PRUEBA DE HIPÓTESIS”.

Para poder utilizar la prueba de hipótesis los datos deberán representar una distribución normal. Con la finalidad de evaluar las hipótesis planteadas, se realizó la prueba de hipótesis de igualdad de dos medias y varianzas conocidas.

El esquema para realizar una prueba de hipótesis acerca de un parámetro “ $\mu$ ” es el siguiente:

**Identificar el parámetro de interés:** Es decir, en base a qué parámetros se evaluará la hipótesis, pudiendo ser este parámetro la media “ $\mu$ ” de la Población.

Para el caso de esta investigación el parámetro de interés es la resistencia a la compresión promedio de cada grupo de concreto en estudio, se denotará como “ $\mu$ ”.

**Establecer la hipótesis nula ( $H_0$ ):** La hipótesis nula no tiene alternativas de cambio, está basada en un solo valor exacto del parámetro poblacional, generalmente se construye esta hipótesis como una igualdad ( $\mu_1 = \mu_2$ ).

Sin embargo para la comparación de dos poblaciones, como es el caso de la presente investigación se plantea la siguiente Hipótesis Nula  $H_0: \mu_1 \leq \mu_2$ .

**Especificar una apropiada hipótesis alternativa ( $H_a$ ):** Existen dos tipos de hipótesis alternativa; la primera de ellas es la hipótesis bilateral la cual se utiliza cuando la conclusión que se quiere obtener no implica ninguna dirección específica, y la respuesta será “no es igual a”. La segunda es la denominada hipótesis unilateral, que es la que se aplica en esta investigación, se utiliza cuando las proposiciones planteadas deben ser respondidas como “mayor que”, “menor que”, etc.

- Si  $H_a: u_1 > u_2$ , significa que la región crítica se encuentra en la cola superior de la distribución normal del estadístico de prueba.
- Si  $H_a: u_1 < u_2$ , significa que la región crítica se encuentra en la cola inferior de la distribución normal del estadístico de prueba.

Para fines de esta investigación se plantea,  $H_a: u_1 > u_2$ .

**Seleccionar el nivel de significancia ( $\alpha = 0.05, 0.01$  o  $0.10$ ):** Los niveles de significancia más recomendados son:

- $\alpha = 0.10$  con 90% de probabilidad de certeza.
- $\alpha = 0.05$  con 95% de probabilidad de certeza.
- $\alpha = 0.01$  con 99% de probabilidad de certeza.

El nivel de significancia más usual con el que se analiza los resultados de resistencia del concreto es 0.05, con el cual se determina el  $t_{\text{tabla}}$  de la tabla de distribución “t” Student este nivel de significancia será utilizado en todos los casos.

**Tabla 6**  
**Determinación de t tabla para un nivel de significancia de 0.05**

Grados de libertad	Nivel de significación para pruebas de una cola		
$\nu$	0.10	0.05	0.025
8	1.397	1.860	2.306
9	1.383	1.833	2.262

Fuente: Del anexo F-1, tabla de distribución “t” de student.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales y métodos que se utilizaron en esta investigación están separados en: cantera, obtención del nanosilice, características físicas y mecánicas de los agregados, diseño de mezclas, elaboración de los especímenes, curado de los especímenes elaborados y prueba de los especímenes a compresión y compresión por tracción diametral.

#### 3.1. MATERIALES EMPLEADOS EN LA INVESTIGACIÓN.

##### 3.1.1. Cantera.

Los agregados usados para la elaboración del concreto en la investigación fueron obtenidos de la cantera de Cutimbo, ubicada a 25.30 Km., de la ciudad de Puno rumbo a la ciudad de Moquegua.

El material obtenido en cantera fue transportado al lugar donde se realizó la división de agregado fino y agregado grueso. La ubicación de la cantera permite conocer la accesibilidad al material, así como la influencia en el mercado y su aplicación en la ciudad de Puno; y sus características son las siguientes: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones).



**Figura 9.** Traslado material de la cantera Cutimbo.

### 3.1.2. Agregado fino.

El agregado fino utilizado para la presente investigación fue extraído de la cantera Cutimbo, con las características de la tabla 7 (Ver anexo A-2).

### 3.1.3. Agregado grueso.

Se utilizaron los agregados provenientes de la cantera Cutimbo, el tamaño estándar del agregado grueso se ciñe a la gradación N° 57 (ASTM C 33) y éstos presentan características de la tabla 7 (Ver anexo A-3).

**Tabla 7**  
**Características de los agregados**

Descripción	unidad	agregados	
		fino	grueso
Tamaño máximo	Pulg	N° 4	3/4 "
Peso específico	gr/cc	2.56	2.59
Peso unitario suelto	Kg/m <sup>3</sup>	1552	1440
Peso unitario compactado	Kg/m <sup>3</sup>	1640	1551
Contenido de humedad	%	6.17	3.16
Absorción	%	2.42	3.21
Módulo de fineza		3.08	6.64

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

### 3.1.4. Nanosílice.

Se ha utilizado nanosílice GAIA como adición cementante. Sus propiedades químicas y físicas se muestran en: (Ver anexo C-1).



**Figura 10.** GAIA Nanosílice.

### **3.1.5. Cemento utilizado.**

A partir del 2013, Yura es la encargada de la producción y comercialización de toda la unidad de negocios de cemento, con lo que produce y distribuye la marca “Rumi” de su subsidiaria Cemento Sur S.A. (Aguila P., 2014)

El cemento utilizado es el cemento portland tipo IP de marca Rumi, cuyo peso específico del cemento utilizado, se tomará del certificado de calidad del cemento rumi el cual es: 2.82 (Ver anexo C-2)

### **3.1.6. Agua.**

El agua utilizada en la presente investigación es agua potable para consumo humano tomada directamente de las instalaciones de la Ciudad Universitaria. Cuyos resultados en referencia a la tesis “Comportamiento de la trabajabilidad y la resistencia a compresión de un concreto de alta resistencia inicial por adición de polímeros súperabsorbentes en la ciudad de Puno” presentado por Parizaca Quispe Ronny Richard, obteniéndose los siguientes resultados.

**Tabla 8**  
**Resultados del análisis físico químico del agua**

<b>Análisis físico químico del agua</b>		
<b>Características organolépticas</b>		
Aspecto		Líquido
Color		Incoloro
<b>Características físico químicas</b>		
pH		7.40
<b>Características químicas</b>		
Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>	mg/l	128.84
Cloruros como CL <sup>-</sup>	mg	298.73
Sulfatos como SO <sub>4</sub>	mg/l	68.80
Sólidos totales	mg/l	815.00
Sólidos disueltos totales	mg/l	810.00
Conductividad	Micro S/cm	1625.00

Fuente: ( Parizaca Quispe , 2015, pág. 146).

Las características físico químicas en comparación con los requisitos de la norma NTP 339.088 y ASTM C 109M, cumplen los límites técnicos establecidos.

### **3.2. PROCEDIMIENTO Y MÉTODO DE DISEÑO DEL ACI 211.4.**

El diseño de mezclas se ha realizado por el método del Comité 211.4 del ACI, este método desarrolla un procedimiento de diseño de mezclas basadas en algunas tablas, las mismas que permiten obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cubica del concreto.

El método propuesto por el comité 211.4 del ACI abarca el rango de resistencia entre 420 kgf/cm<sup>2</sup> y 840 kgf/cm<sup>2</sup>, este método es aplicable a concretos de peso normal. Las consideraciones básicas de este método al igual que en el método para concretos convencionales es la determinación de la cantidad de los materiales requeridos para producir un concreto con las propiedades en estado fresco y endurecido y a un bajo costo. El procedimiento consiste en una serie de pasos en los que se debe de cumplir los requerimientos de resistencia y trabajabilidad deseados. El método recomienda elaborar varias pruebas en laboratorio y en el campo hasta encontrar la mezcla deseada.

Alcances generales sobre el diseño de mezclas: El siguiente procedimiento corresponde al comité ACI-211.4, que incluyen las tablas y pasos que corresponden a los indicados en dicha norma:

Se realizó diseño de mezcla para la siguiente resistencia:

- $f'c=350 \text{ kg/cm}^2$  (concreto patrón)

Como los diseños que se realizaron no contaban con un registro de resultados de ensayos que posibilite el cálculo de la desviación estándar, es que se opta por utilizar la resistencia promedio requerida según la siguiente fórmula que indica el ACI 211.4:

Fórmula para hallar la resistencia promedio requerida:

$$f'_{cr} = \frac{f'c + 98}{0.9}$$

Seleccionar el tamaño máximo del agregado, basado en los requerimientos de resistencia, el tamaño máximo del agregado grueso es dato en la tabla 9.

**Tabla 9**  
**Tabla para hallar el tamaño máximo nominal del agregado**

<b>Resistencia requerida del Concreto (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tamaño máximo del agregado</b>
Menor a < 630	3/4" - 1"
Mayor a > 630	3/8" - 1/2"

Fuente: ACI 211.4

Se trabajó con un TMN de 3/4 pulgadas, ya que como buscamos resistencias menores a 630 kg/cm<sup>2</sup>.

El ACI 211.4 nos indica que tenemos que utilizar agregado con tamaño máximo nominal de 3/4" – 1" de pulgadas.

Al seleccionar el slump y la resistencia del concreto requeridos, los valores recomendados para el slump se muestran en la tabla 10. A pesar que un concreto de alta resistencia es producido exitosamente con la adición de un superplastificante sin una

medida inicial del slump, es recomendado un slump de 1 a 2" antes de adicionar el superplastificante. Esto asegurara una adecuada cantidad de agua para la mezcla y permitirá que el superplastificante sea efectivo.

Para un concreto elaborado sin superplastificante un slump de 2 a 4", este puede ser escogido de acuerdo al trabajo a realizarse. Concretos con menos de 2" de slump son difíciles de consolidar dado el alto contenido de agregado grueso y materiales cementicios.

**Tabla 10**  
**Slump recomendado para concretos de alta resistencia con y sin superplastificante**

<b>Slump con superplastificante</b>	<b>Slump sin superplastificante</b>
1" - 2"	2" - 4"

Fuente: ACI 211.4.

Seleccionar el contenido óptimo de agregado grueso, el óptimo contenido de agregado grueso depende de su resistencia característica y tamaño máximo. El contenido óptimo recomendado de agregado grueso, expresado como una fracción del peso unitario compactado, es dado en la tabla 11, como una función del tamaño máximo nominal.

El peso seco del agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Peso seco del agregado grueso} = \%P_{sag} * P.U.C. \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

En una proporción de una mezcla de concreto normal, el contenido óptimo de agregado grueso esta dado como una función del tamaño máximo y del módulo de fineza del agregado fino. Las mezclas de concreto de alta resistencia, sin embargo, tienen un alto contenido de materiales cementicios, y por lo tanto no son dependientes del agregado fino para lograr la lubricación y compactación de la mezcla, por supuesto los valores dados en la tabla 11, son recomendados para arenas que tienen módulo de finura entre 2.5 a 3.2.



**Tabla 11**  
**Tabla de volumen de agregado grueso según el tamaño máximo nominal del agregado grueso**

<b>Volumen de Agregado Grueso por unidad de Volumen de concreto (Para Ag. Fino con módulo de finura entre 2.5 – 3.2)</b>				
Tamaño máximo nominal	3/8"	1/2"	3/4"	1"
Fracción volumétrica Psag.	0.65	0.68	0.72	0.75

Fuente: ACI 211.4.

Estimar el agua de mezcla y el contenido de aire, la cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir un slump dado es dependiente del tamaño máximo, forma de las partículas, gradación del agregado, cantidad de cemento y tipo de superplastificante, el contenido de agua en este aditivo es tomado en cuenta para el cálculo de la relación agua/cemento: la tabla 12, da una primera estimación del agua de mezclado requerida para concretos elaborados con agregados de tamaño máximo entre 1" y 3/8", esta cantidad de agua es estimada sin la adición de aditivo, en la misma tabla también se da los valores estimados de aire atrapado.

Estas cantidades de agua de mezclado son máximas para un agregado bien graduado, angular y limpio que cumple con los límites de la norma ASTM C33, dado que la forma de las partículas y la textura superficial del agregado fino puede influenciar significativamente su contenido de vacíos, el requerimiento de agua de mezclado puede ser diferente de los valores dados.

Los valores dados en la tabla 12 son aplicables cuando el agregado fino usado tiene un contenido de vacíos igual a 35%. El contenido de vacíos del agregado fino puede ser calculado usando la siguiente ecuación.

$$\text{Contenido de vacios, } V\% = \left(1 - \frac{\text{P. U. C.}}{\text{peso específico}}\right) * 100 \dots \dots (\text{Ecuacion 3.2})$$

Cuando el contenido de vacíos del agregado fino no es 35% es necesario un ajuste a la cantidad de agua de mezclado, este ajuste puede ser calculado usando la siguiente ecuación:

$$\text{Ajuste de agua de mezclado, } A \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 4.72 * (V - 35) \dots \text{ (Ecuacion 3.3)}$$

Usando la ecuación 3.3 Obtenemos un ajuste de 4.72 kg/m<sup>3</sup> por cada punto porcentual del contenido de vacíos de la arena.

**Tabla 12**  
**Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire**

Slump	Agua de mezclado en kg/m <sup>3</sup> para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1" - 2"	183	174	168	165
2" - 3"	189	183	174	171
3" - 4"	195	189	180	177
Aire Atrapado				
Sin superplastificante	3.00%	2.50%	2.00%	1.50%
Con superplastificante	2.50%	2.00%	1.50%	1.0%

Fuente: ACI 211.4

Seleccionar la relación agua/materiales cementicios, en la tabla 13, valores máximos recomendados para la relación agua/materiales cementicios son mostrados en función del tamaño máximo del agregado para alcanzar diferentes resistencias a compresión en 28 días. Los valores dados en la tabla 13, son para concretos elaborados sin superplastificante.

**Tabla 13**  
**Relación agua/materiales cementicios para concreto sin superplastificante**

Resistencia promedio $F'_{cr}$ *kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Relación a/mc para los tamaños máximos de agregados gruesos indicados			
		3/8"	1/2"	3/4"	1"
422	28	0.47	0.46	0.44	0.42
492	28	0.42	0.41	0.39	0.37
563	28	0.35	0.34	0.33	0.30
633	28	0.30	0.29	0.28	0.25
703	28	0.26	0.26	0.25	0.23

Fuente: ACI 211.4

Nota: La resistencia promedio requerida deberá ser reajustada para usar la tabla 13 con un valor de 0.9 ( $F'_{cr}$ ).

Cálculo del contenido de material cementicios, el peso del material cementicio requerido por m<sup>3</sup> de concreto puede ser determinado por la división de la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/c seleccionada; sin embargo, si las especificaciones incluyen un mínimo en la cantidad de material cementicio por m<sup>3</sup>, este debe ser cumplido.

Proporción de la mezcla de prueba base, para determinar las proporciones óptimas primero se debe realizar una mezcla base. Los siguientes pasos deben ser cumplidos para completar la mezcla:

Contenido de cemento, para esta mezcla, el peso del cemento será igual al calculado en el paso anterior.

Contenido de agregado fino, se calcula después de determinar los pesos por m<sup>3</sup> de agregado grueso, cemento, agua, y contenido de aire atrapado, el contenido de agregado fino puede ser calculado usando el método de volúmenes absolutos.

Ya habiendo hallado el diseño de mezclas en estado seco, se procedió a realizar la corrección por humedad utilizando el contenido de humedad y la absorción del agregado grueso y fino.

Ya teniendo la corrección por humedad, ya tenemos el diseño final para emplear en el respectivo vaciado.

La cantidad del aditivo nanosilice a utilizarse en un porcentaje de 1% hasta 3.0% del peso del cemento a utilizarse, según indican sus respectivas fichas de cada marca de aditivo.

**Tabla 14**

**Tabla de las propiedades físicas del cemento, agua y agregados para los diseños del ACI 211.4**

<b>Propiedades del Cemento, Agua y Agregados</b>		
<b>Cemento</b>		
Marca y tipo	Rumi IP	
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	2820.00	
<b>Agua</b>		
Agua potable	Si	
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	1000.00	
<b>Agregados</b>		
Propiedades	Fino	Grueso
Cantera	Cutimbo	Cutimbo
P.U. suelto seco (kg/m <sup>3</sup> )	1552.00	1440.00
P.U. varillado (kg/m <sup>3</sup> )	1640.00	1551.00
P.E. de masa (kg/m <sup>3</sup> )	2560	2590
Módulo de fineza	3.08	6.64
Absorción	2.42%	3.21%
Contenido de Humedad	6.17%	3.16%
Tamaño Nominal Máximo (Pulg.)	-	3/4"

Teniendo la tabla 14 procedemos a realizar los diseños de mezclas según el método del comité ACI 211.4. Para la resistencia de  $F'c=350$  kg/cm<sup>2</sup>.

### 3.2.1. Diseño de concreto de alta resistencia.

Diseño de concreto de alta resistencia  
método: ACI 211.4 para concreto patrón  
 $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup>

#### A) RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDO

F'c	350	kg/cm <sup>2</sup>
$f'cr = \frac{f'c + 98}{0.9}$		
F'cr	497.78	kg/cm <sup>2</sup>



**B) ASENTAMIENTO:**

<b>Slump Recomendado Para C.A.R.</b>	<b>Slump Min.</b>	<b>Slump Max.</b>
Slump Con Superplastificante	1"	2"
Slump Sin Superplastificante	2"	4"

<b>Resistencia Requerida del Concreto (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Tamaño Máximo del Agregado</b>	
Resistencia Menor a < 630	3/4"	1"
Resistencia Mayor a > 630	3/8"	1/2"

**C) VERIFICACION Y SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:**

TMN	3/4"	in.
-----	------	-----

**D) SELECCIÓN DEL CONTENIDO OPTIMO DEL AGREGADO GRUESO:**

**Volumen del agregado grueso por unidad de volumen del concreto ( para agregado fino con módulo de finura entre 2.5 - 3.2)**

Tamaño Máximo Nominal	3/8"	1/2"	3/4"
Fracción Volumétrica Psag.	0.65	0.62	0.72
Peso del Agr. Grueso (Volumen *P.U. Varillado Compactado)	1116.72		kg

**E) ESTIMACIÓN DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE:**

**Requerimientos aproximados para agua de mezclado y contenido de aire vasado en el uso de una arena con 35% de vacíos.**

<b>slump</b>	<b>Agua de Mezclado en Kg/m<sup>3</sup> , para</b>			
	<b>3/8"</b>	<b>1/2"</b>	<b>3/4"</b>	<b>1"</b>



1" - 2"	183	174	168	165
2" - 3"	189	183	174	171
3" - 4"	195	189	180	177

**Aire Atrapado %**

Sin Superplastificante	3.00	2.50	2.00	1.50
Con Superplastificante	2.50	2.00	1.50	1.00

**Calculamos el contenido de vacíos de la arena**

$$V\% = \left(1 - \frac{P.U.C.}{PESO ESPECIFICO}\right) * 100$$

V= 35.94 %

**Ajustamos el Agua de Mezclado**

A, Kg/m<sup>3</sup> = 4.72 \* (V - 35)      A = 4.43      Kg/m<sup>3</sup>

Contenido de Agua Final      184.43      Kg/m<sup>3</sup>

aire atrapado %      2.00      %

**F) SELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA/MATERIALES CEMENTICIOS:**

**Relación Agua/Materiales Cementantes Sin Superplastificante**

Resistencia Promedio F'cr kg/cm <sup>2</sup>	Edad (días)	Relación a/mc Para los Tamaños Máximos de Agregados Gruesos Indicados		
		3/8"	1/2"	3/4"
422	28	0.47	0.46	0.44
492	28	0.42	0.41	0.39



563	28	0.35	0.34	0.33
633	29	0.30	0.29	0.28
703	30	0.26	0.26	0.25

$F'_{cr} =$	497.78	$F'_{cr}^{\wedge} =$	448	kg/cm <sup>2</sup>
-------------	--------	----------------------	-----	--------------------

$F'_{cr}$	a/mc
-----------	------

422	0.44
-----	------

448	0.42
-----	------

492	0.39
-----	------

Nota: la resistencia promedio requerida deberá ser reajustada para usar la tabla con 0.9 ( $f'_{cr}^{\wedge}$ )

### G) CONTENIDO DE MATERIALES CEMENTICIOS:

Contenido de Agua	184.43	Lt/m <sup>3</sup>
-------------------	--------	-------------------

Relación Agua / Materiales Cementicios (a/mc)	0.42
---	------

Contenido De Cemento	437.62	Kg.
----------------------	--------	-----

### H) VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES SIN CONTAR EL AGREGADO FINO:

Material	Pesos (Kg)	Peso Especifico	Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen Total (m <sup>3</sup> )
Cemento	437.62	2820	0.155	
Agregado Grueso	1116.72	2590	0.431	
Agua	184.43	1000	0.184	0.791
Aire	2.00		0.020	

### I) VOLUMEN DEL AGREGADO FINO Y PESO:

Volumen del agregado fino (1- volumen)	0.209	m <sup>3</sup>
--	-------	----------------



Peso del agregado fino (volumen\*p.e.masa) 535.62 kg

**J) PRESENTACIÓN DEL DISEÑO EN ESTADO SECO:**

Material	Peso Seco	Proporción
Cemento	437.62	1
Agregado Fino	535.62	1.22
Agregado Grueso	1116.72	2.55
Agua	184.43	0.42

**K) DISEÑO FINAL POR CORRECCIÓN POR HUMEDAD:**

Material	Peso/m <sup>3</sup>	Unidad	Peso/Bolsa	Unidad
Cemento	437.62	Kg/m <sup>3</sup>	42.50	Kg/bolsa
Agregado Fino	555.70	Kg/m <sup>3</sup>	53.97	Kg/bolsa
Agregado Grueso	1116.16	Kg/m <sup>3</sup>	108.40	Kg/bolsa
Agua Efectiva	164.90	L/m <sup>3</sup>	16.01	L/bolsa
Aire	2.00	%	2.00	%

**L) DISEÑO FINAL OBTENIDO DEL CONCRETO PATRÓN.**

**Dosificación Para 1 Metro Cúbico de Concreto**

Materiales	Dosificación Para 1 Metro Cúbico de Concreto				
	Peso Seco (Kg)	Vol. Absoluto (m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (Kg/m <sup>3</sup> )	Vol. Absoluto (m <sup>3</sup> )	Tanda 0.095 (Kg)
Cemento	437.62	0.16	437.62	0.16	41.57
Agregado Fino	535.62	0.21	555.70	0.23	52.79
Agregado Grueso	1116.72	0.43	1116.16	0.43	106.04
Agua Efectiva	184.43	0.18	164.90	0.16	15.67
Aire	2.00	0.02	2.00	0.02	
Sumatoria	2276.38	1.00	2276.38	1.00	



### 3.2.2. Diseño concreto con sustitución parcial de Nanosílice.

Existen recomendaciones para porcentajes en el uso del nanosílice, pero en esta investigación tomaremos los porcentajes tomados basados en un máximo de 3.0% (cantidad adoptada por motivos de última trabajabilidad) y divididos en cantidades de 1%, 1.5%, 2%, 2.5%, y 3%, los grupos de concretos a diseñar son: M-1 (100%<sub>C</sub>+0%<sub>NS</sub>), M-2 (99%<sub>C</sub>+1%<sub>NS</sub>), M-3 (98.5%<sub>C</sub>+1.5%<sub>NS</sub>), M-4 (98%<sub>C</sub>+2%<sub>NS</sub>), M-5 (97.5%<sub>C</sub>+2.5%<sub>NS</sub>) y M-6 (97%<sub>C</sub>+ 3%<sub>NS</sub>).

#### Aplicación del método de peso equivalente.

El Instituto Americano del Concreto, adopta el uso de aditivo en sus recomendaciones para dosificar mezclas de Concreto. Como regla general, el ACI recomienda tratar los aditivos solo como un sustituto parcial del cemento, por lo que anota que en el proceso de dosificación ella debe tenerse en cuenta en la estimación de la relación agua-cemento (que ahora será agua – material cementante y se notará como  $A/(C+NS)$ , en la determinación del contenido de cemento (C), y por supuesto, en la determinación del contenido de nanosílice (NS).

Cuando un aditivo es usada para la fabricación del concreto, se debe considerar una nueva relación agua conglomerante  $A/(C+NS)$ , es decir (Agua/(cemento + nanosílice)). En lugar de la relación agua – cemento ( $A/C$ ) usada en el método anterior. Existen dos procedimientos para la determinación de una  $A/(C+NS)$ : El método por peso equivalente y el método de los volúmenes absolutos equivalente.

Para esta investigación se utiliza el método por peso equivalente, la relación es la misma directamente.

$$\frac{A}{C+NS} = \frac{A}{C}; \text{ Equivalencia en peso.}$$

El proceso de diseño de mezclas por este método se detalla en Anexos, donde se sigue el procedimiento indicado en el acápite anterior.

Enseguida se muestra el resumen de las proporciones halladas:

**Tabla 15**  
**Resumen de materiales por el método de peso equivalente**

Descripción	Peso kg/m <sup>3</sup>					
	% Cemento	100%	99%	98.5%	98%	97.5%
% NS	0%	1%	1.5%	2%	2.5%	3%
Cemento	437.62	433.24	431.05	428.87	426.68	424.49
Nanosílice	0.00	4.38	6.56	8.75	10.94	13.13
Ag. fino húmedo	555.70	596.69	592.91	589.12	585.33	581.54
Agregado grueso húmedo	1116.16	1152.01	1152.01	1152.01	1152.01	1152.01
Agua (lt)	164.90	163.91	164.04	164.18	164.31	164.44
A/C	0.42	--	--	--	--	--
A/(C+NS)	--	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42
A/(C+NS) efectivo	0.38	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39
Material cementante.	437.62	437.62	437.62	437.62	437.62	437.62

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo.

**Tabla 16**  
**Resumen de material para un volumen de 0.095 m<sup>3</sup> de concreto**

Descripción	cantidad de material corregido para vol. de 0.095 m <sup>3</sup> de concreto					
	% Cemento	100%	99%	98.5%	98%	97.5%
% NS	0%	1%	1.5%	2%	2.5%	3%
Cemento	41.57	41.16	40.95	40.74	40.53	40.33
Nanosílice	0.00	0.42	0.62	0.83	1.04	1.25
Ag. fino húmedo	52.79	52.12	51.79	51.45	51.12	50.78
Ag. grueso h.	106.04	106.04	106.04	106.04	106.04	106.04
Agua (lt)	15.67	15.69	15.70	15.71	15.73	15.74
Material	41.57	41.57	41.57	41.57	41.57	41.57

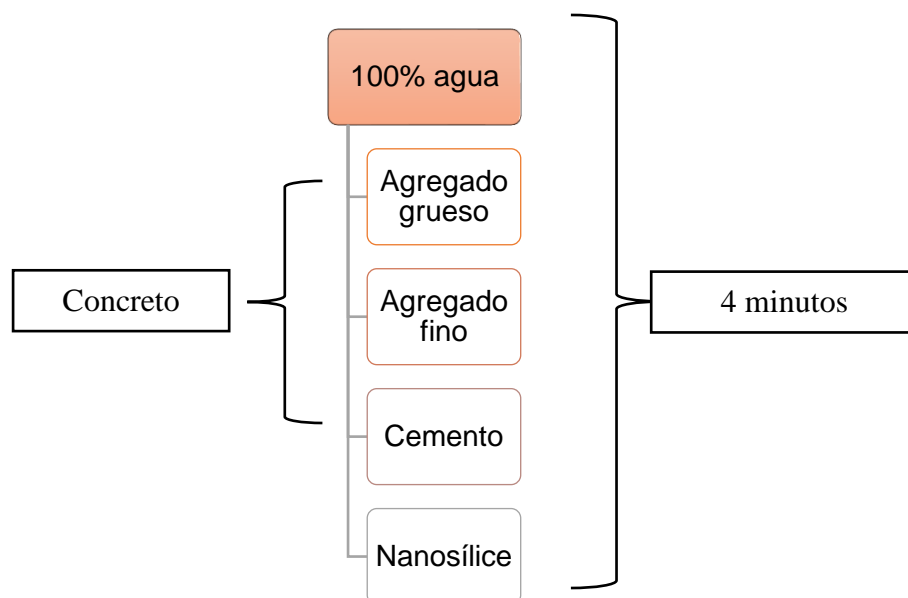
Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo.

### 3.3. ELABORACIÓN DE CONCRETO.

Una vez obtenido el diseño de mezcla, se procedió a la elaboración de concreto para el vaciado del mismo en todos los moldes necesarios para realizar los ensayos contemplados a fin de cumplir con los objetivos de la presente investigación, siendo el procedimiento consistente con la norma ASTM C31.

Para secuencia y tiempo de mezclado no existe una norma que defina el procedimiento para cargar la mezcladora; sin embargo, con la finalidad de obtener una muestra homogénea y uniforme de concreto fresco, en la investigación se hizo uso de la secuencia y tiempo de mezclado mostrado en la Figura 3.3.

La ASTM señala que tiempos de mezclado inferiores al minuto y medio, producen concretos de características variables. Sin embargo, a partir de los dos minutos, no se obtiene un mejoramiento de la mezcla. La resistencia es menos afectada por el tiempo de mezclado, especialmente luego de los dos minutos.



**Figura 11** Secuencia y tiempo de mezclados empleados

### 3.3.1. Probetas de concreto.

Para la presente investigación se utilizó probetas cilíndricas de 6”x12”, luego se codificaron de acuerdo al llenado en el molde y se retiraron el molde pasado las 24 horas de vaciado.



**Figura 12** Llenado de moldes y apisonado de mezcla de concreto en tres capas iguales y luego su respectiva codificación.

### 3.3.2. Curado del concreto.

Respecto al curado, el reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma E-060, indica: “El concreto deberá ser curado y mantenido sobre los 10°C por lo menos los 7 primeros días después de su colocación; en el caso de concreto con alta resistencia inicial este tiempo podrá reducirse a 3 días. Si se usa cemento tipo IP o IPM el curado deberá mantenerse como mínimo los primeros 10 días.”.

Las muestras de concreto han sido extraídas de los moldes a las 24 horas del vaciado, Según la Norma ASTM C – 192 las muestras deben ser sumergidas en agua o en un ambiente con un 95% de humedad relativa y a una temperatura mínima de  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ . Pero esta condición de la temperatura para efectos del presente trabajo, no se ha cumplido, se ha tomado la decisión que el agua usada en el proceso de curado sea la

misma que viene de la red pública. En lo posible se ha tratado de mantener la temperatura del agua de curado a 13°C, ya que estas temperaturas son muy representativas de la realidad tanto en la ciudad de Puno.

Enseguida dichas muestras fueron introducidas en la poza de curado, hasta esperar el momento de rotura y/o sometidas a los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días.



**Figura 13.** Poza para curado.

### **3.4. ENSAYOS AL CONCRETO FRESCO.**

#### **3.4.1. Ensayo de asentamiento.**

El ensayo se realizó una vez finalizada cada tandada de concreto, utilizando el cono de Abrams y equipos necesarios, según lo descrito en la Norma Técnica Peruana NTP 339.035, como se muestra en la figura.



**Figura 14.** Ensayo de asentamiento cono de Abrams.

### **3.5. ENSAYOS AL CONCRETO ENDURECIDO.**

#### **3.5.1. Ensayo de resistencia a compresión.**

Los ensayos de resistencia a compresión se realizaron según la norma del ASTM C39 y la NTP 339.034 como se muestra en la figura 3.7. Se utilizaron probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm de altura. Para cada tipo de grupo de concreto se ensayaron 18 probetas a 7 días, a los 14 días y finalmente a los 28 días.



**Figura 15.** Ensayo de resistencia a compresión.

### 3.5.2. Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.

Los ensayos de resistencia a tracción por compresión diametral se realizaron según la norma del ASTM C496 y la NTP 339.084 como se muestra en la figura 3.8. Se utilizaron probetas cilíndricas de 150 mm x 300 mm de altura. Para cada tipo de grupo de concreto se ensayaron 18 probetas a los 28 días.



**Figura 16** Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral.





## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADO DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

*Tabla 17*

*Resumen de material para 1m<sup>3</sup> de concreto*

Descripción	Slump (pulg.)	Extensibilidad (Cm)	Peso Unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	Relación A/C de ensayo
100.0% <sub>C</sub> + 0.0% <sub>NS</sub>	4 1/2	22	2408.32	0.38
99.0% <sub>C</sub> + 1.0% <sub>NS</sub>	8 1/2	44	2454.72	0.38
98.5% <sub>C</sub> + 1.5% <sub>NS</sub>	9 1/4	60	2464.15	0.38
98.0% <sub>C</sub> + 2.0% <sub>NS</sub>	9 1/4	68	2489.62	0.39
97.5% <sub>C</sub> + 2.5% <sub>NS</sub>	9 1/2	72	2586.79	0.39
97.0% <sub>C</sub> + 3.0% <sub>NS</sub>	9 1/2	74	2638.68	0.39

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

#### 4.2. RESULTADO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

En las siguientes tablas se presentan los resultados promedio de la resistencia a la compresión del concreto obtenidas a 7, 14 y a 28 días de edad. Los resultados de resistencia a la compresión de cada espécimen se muestran en el anexo B-1 de este documento.

Se indica que las resistencias a la compresión obtenidas de los concretos sin nanosílice no llegaron a su resistencia de diseño ya que fue necesario alterar su relación agua cemento con fines de lograr una mezcla homogénea y trabajable.

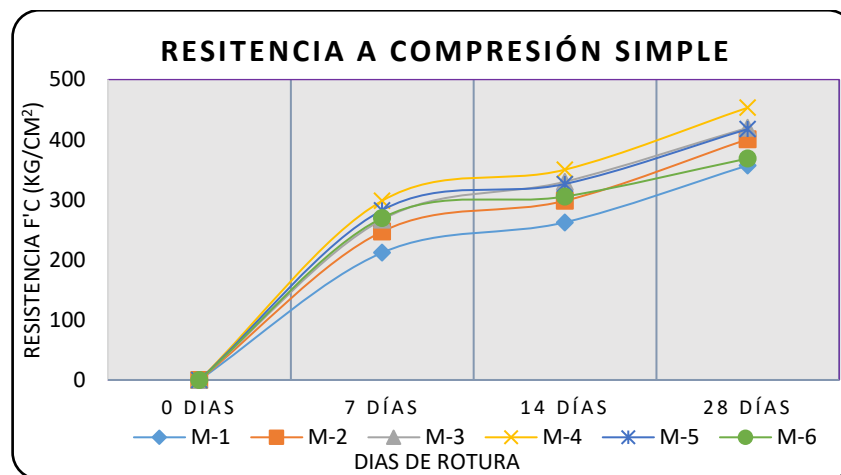
En la tabla 18 se presentan los resultados promedio de la resistencia a compresión alcanzadas a 7, 14 y 28 días de edad del concreto patrón M-1 (100%<sub>C</sub>+0%<sub>NS</sub>) y de los concretos con sustitución parcial del cemento por nanosílice.



**Tabla 18**  
**Resumen resultados del ensayo de resistencia a la compresión**

Tipo de Dosificación			Promedio - resistencia a la compresión		
Grupo	Cemento	Nanosílice	7 días	14 días	28 días
M-1	100.0% <sub>C</sub>	0.0% <sub>NS</sub>	211.87	262.41	357.15
M-2	99.0% <sub>C</sub>	1.0% <sub>NS</sub>	247.05	298.30	400.74
M-3	98.5% <sub>C</sub>	1.5% <sub>NS</sub>	266.93	329.98	419.83
M-4	98.0% <sub>C</sub>	2.0% <sub>NS</sub>	298.30	350.07	453.28
M-5	97.5% <sub>C</sub>	2.5% <sub>NS</sub>	282.68	326.25	417.64
M-6	97.0% <sub>C</sub>	3.0% <sub>NS</sub>	269.83	305.37	368.66

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



**Figura 17** Evolución de la resistencia a la compresión 7, 14 y 28 días, para los grupos de prueba.

Analizando los datos de la tabla 18 y figura 17, se puede notar que la resistencia promedio a la compresión a los 28 días de edad que se obtiene para el concreto patrón M-1 (100%<sub>C</sub>+0%<sub>NS</sub>), es de 357.15.00 kg/cm<sup>2</sup>, así alcanzando su resistencia de diseño (350 kg/cm<sup>2</sup>). En cuanto a los resultados de los concreto M-2 (99%<sub>C</sub>+1%<sub>NS</sub>), M-3 (98.5%<sub>C</sub>+1.5%<sub>NS</sub>), M-4 (98%<sub>C</sub>+2%<sub>NS</sub>), M-5 (97.5%<sub>C</sub>+2.5%<sub>NS</sub>) y M-6 (97%<sub>C</sub>+3%<sub>NS</sub>), se puede observar que la resistencia a la compresión a los 28 días es superior en 14.50%, 19.95%, 29.51%, 19.33 y 5.33% respecto al concreto patrón.

### 4.3. RESULTADO DEL CONCRETO A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN

#### DIAMETRAL.

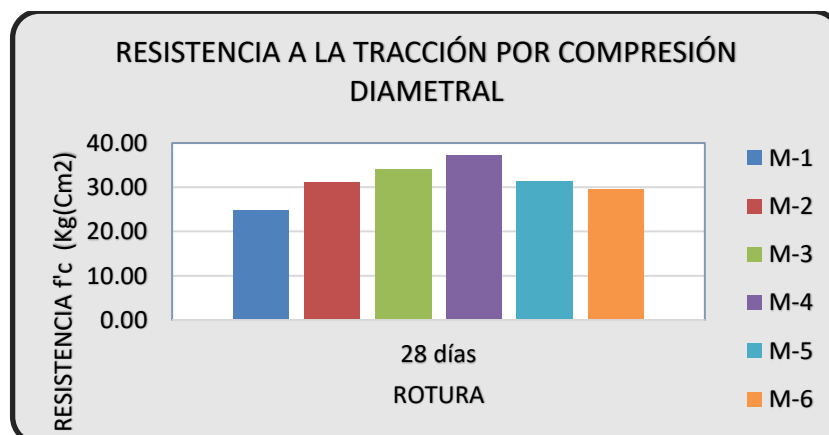
En las siguientes tablas se presentan los resultados promedio de la resistencia a tracción diametral del concreto obtenidas a los 28 días de edad. Los resultados de resistencia a tracción diametral de cada espécimen se muestran en el anexo C-2 de este documento

La tabla 4.3 se presentan los resultados promedio de la resistencia a tracción diametral alcanzada a los 28 días de edad del concreto patrón M-1 (100%<sub>C</sub>+0%<sub>NS</sub>) y de los concretos con sustitución parcial del cemento por nanosílice.

**Tabla 19**  
**Resumen resultados del ensayo a la tracción por compresión diametral**

Tipo de Dosificación			Promedio - resistencia a la tracción por compresión diametral.	
Grupo	Cemento	Nanosílice	0 días	28 días
M-1	100.0% <sub>C</sub>	0.0% <sub>NS</sub>	0	24.69
M-2	99.0% <sub>C</sub>	1.0% <sub>NS</sub>	0	31.06
M-3	98.5% <sub>C</sub>	1.5% <sub>NS</sub>	0	34.08
M-4	98.0% <sub>C</sub>	2.0% <sub>NS</sub>	0	37.20
M-5	97.5% <sub>C</sub>	2.5% <sub>NS</sub>	0	31.34
M-6	97.0% <sub>C</sub>	3.0% <sub>NS</sub>	0	29.62

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



**Figura 18.** Evolución de la resistencia a la tracción por compresión diametral para los 28 días, en los grupos de prueba.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



#### 4.4. DISCUSIÓN DE LOS MATERIALES EMPLEADOS

Para la presente investigación se realizó ensayos a los siguientes materiales usados:

**Agregado fino:** En la presente investigación se utilizó de la cantera rio Cutimbo. En la gráfica de la curva granulométrica (ver Anexo A-2) se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por la Norma NTP 400.012.

**Agregado grueso:** Es de la cantera Cutimbo. En la gráfica de la curva granulométrica (ver Anexo A-3) se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por el Huso 57, determinado por la Norma NTP 400.037.

**Nanosílice:** Cumple con la norma NTP 334.088 y con sus estándares de calidad para el concreto (ver Anexo C-1).

**Agua:** Se utilizó agua red pública (UNA PUNO), al ser potable el agua es apto para la elaboración del concreto según la norma NTP 339.088

Se ensayaron los agregados finos y gruesos para poder hallar sus propiedades físicas.

Para el concreto patrón, la dosificación de cemento, agua, agregado fino y grueso se hallaron de acuerdo a las tablas indicadas en el método de diseño de mezclas del ACI 211.4., y para concretos con sustitución parcial del cemento por nanosílice se utilizó el mismo diseño anterior descrito con la única diferencia que la sustitución de los porcentajes con respecto al peso del cemento, considerando la variación del slump y relación a/c (Aplicación del método de peso equivalente) para todas las muestras.

Las condiciones de curado fueron a la temperatura aproximada de 13°C.

#### 4.5. DISCUSIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

Los resultados obtenidos al medir el parámetro de revenimiento presentados en la tabla 17, nos indican que el aditivo nanosílice cumple con la función de plastificante del concreto en estado fresco, logrando revenimientos de hasta 9 ½"; además, mediante la realización de esta prueba se ha comprobado a través de la observación de la deformación del cono que la cohesión de cada una de las mezclas es la adecuada ya que las mezclas no presentaron mucha segregación.

#### 4.6. DISCUSIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

##### 4.6.1. Resistencia a compresión.

De acuerdo a los resultados de la tabla 17 obtenemos la siguiente tabla 20.

**Tabla 20**  
*Resistencia a la compresión promedio obtenido*

Grupo	Tipo de Dosificación		Promedio - resistencia a la compresión			% Variación de f'c		
	Cemento	Nanosílice	7 días	14 días	28 días	7 días	14 días	28 días
M-1	100.0% <sub>C</sub>	0.0% <sub>NS</sub>	211.87	262.41	357.15	-39.47%	-25.03%	2.04%
M-2	99.0% <sub>C</sub>	1.0% <sub>NS</sub>	247.05	298.30	400.74	-29.42%	-14.77%	14.50%
M-3	98.5% <sub>C</sub>	1.5% <sub>NS</sub>	266.93	329.98	419.83	-23.73%	-5.72%	19.95%
M-4	98.0% <sub>C</sub>	2.0% <sub>NS</sub>	298.30	350.07	453.28	-14.77%	0.02%	29.51%
M-5	97.5% <sub>C</sub>	2.5% <sub>NS</sub>	282.68	326.25	417.64	-19.24%	-6.79%	19.33%
M-6	97.5% <sub>C</sub>	3.0% <sub>NS</sub>	269.83	305.37	368.66	-22.91%	-12.75%	5.33%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

##### 4.6.2. Resistencia a la tracción por compresión diametral.

De acuerdo a los resultados de la tabla 19 los porcentajes que presentan la tabla 21 están dentro de los límites establecidos, solo el concreto patrón que no llega a los rangos establecidos. Los rangos establecidos son del 8 a los 15% de la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto obtenidas a los 28 días de edad.

**Tabla 21**  
**Resistencia a la tracción por compresión diametral y promedio obtenido**

Tipo de dosificación			Promedio – resistencia a la tracción por compresión diametral		
Grupo	Cemento	Nanosílice	Resistencia de diseño (kg/cm <sup>2</sup> )	28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	% variación de f'c
M-1	100.0% <sub>c</sub>	0.0% <sub>NS</sub>	350	24.69	7.05
M-2	99.0% <sub>c</sub>	1.0% <sub>NS</sub>	350	31.06	8.87
M-3	98.5% <sub>c</sub>	1.5% <sub>NS</sub>	350	34.08	9.74
M-4	98.0% <sub>c</sub>	2.0% <sub>NS</sub>	350	37.20	10.63
M-5	97.5% <sub>c</sub>	2.5% <sub>NS</sub>	350	31.34	8.95
M-6	97.0% <sub>c</sub>	3.0% <sub>NS</sub>	350	29.62	8.46

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

En la tabla 22, indica los valores típicos del rango de variación de la resistencia a tracción por compresión diametral medida por los diferentes ensayos citados en concretos con agregados normales. Los valores se expresan en porcentaje respecto a la resistencia a compresión.

**Tabla 22**  
**Rango de variación de la resistencia a la tracción por compresión diametral del concreto para distintos métodos de ensayo**

Método de evaluación	Porcentajes referidos a la resistencia a compresión
Tracción directa	6 al 11%
Tracción por compresión diametral	8 al 15%
Flexión en tres puntos	15 al 25%
Flexión a los tercios	12 al 20%

Fuente: Zerbino, R. (2013). Evaluación de la resistencia en los materiales.

#### **4.6.3. Interpretación de datos: concreto patrón (CP) – concreto con sustitución parcial del cemento por nanosílice.**

- El concreto patrón M-1 (100%<sub>C</sub>+0%<sub>NS</sub>), tiene una resistencia promedio a la compresión de 357.15 kg/cm<sup>2</sup> con un incremento de 2.04% a la edad de 28 días,



con lo que se comprueba el funcionamiento correcto del diseño de mezclas por el método ACI 211.4.

- El concreto M-2 ( $99\%_C+1\%_{NS}$ ), tiene una resistencia promedio a la compresión de  $400.74 \text{ kg/cm}^2$  con un incremento de 14.50% a la edad de 28 días, con respecto a la resistencia promedio a la compresión del concreto patrón.
- El concreto M-3 ( $98.5\%_C+1.5\%_{NS}$ ), tiene una resistencia promedio a la compresión de  $419.83 \text{ kg/cm}^2$  con un incremento de 19.95% a la edad de 28 días, con respecto a la resistencia promedio a la compresión del concreto patrón.
- El concreto M-4 ( $98\%_C+2\%_{NS}$ ), tiene una resistencia promedio a la compresión de  $350.07 \text{ kg/cm}^2$  con un incremento de 0.02% a la edad de 14 días y de  $453.28 \text{ kg/cm}^2$  con un incremento de 29.51% a la edad de 28 días, con respecto a la resistencia promedio a la compresión del concreto patrón, así mismo este porcentaje sería el óptimo encontrado.
- El concreto M-5 ( $97.5\%_C+2.5\%_{NS}$ ), tiene una resistencia promedio a la compresión de  $417.64 \text{ kg/cm}^2$  con un incremento de 19.33% a la edad de 28 días, con respecto a la resistencia promedio a la compresión del concreto patrón.
- El concreto M-6 ( $97\%_C+3\%_{NS}$ ), tiene una resistencia promedio a la compresión de  $368.66 \text{ kg/cm}^2$  con un incremento de 5.33% a la edad de 28 días, con respecto a la resistencia promedio a la compresión del concreto patrón.

#### 4.7. ANÁLISIS DE COSTOS.

En este apartado se analiza el costo de producción de los seis tipos de dosificaciones, donde se realizó solo con los materiales que intervienen en la mezcla para  $1 \text{ m}^3$  de concreto, además se tuvo en cuenta la procedencia del nanosílice.

- Según, López Ampuero & Mamani Copari (2017), el costo de transporte del nanosílice desde la central de Villa el Salvador-Lima hasta la ciudad de Puno es



de: 110 soles para 220 kg, entonces el costo por kilo de transporte es:  $110/220=0.5$   
*soles/kg*

El costo del nanosílice en el distrito de Villa el Salvador- Lima es: 2.06 dólares por kg + I.G.V. y considerando el tipo de cambio de: 1 dólar = 3.12 soles, el costo para un kg de nanosílice es:  $2.06 \times 3.31 = 6.82$  soles/kg.

Finalmente, el costo por litro de nanosílice puesto en la ciudad de Puno es:

$0.5 + 6.82 = 7.32$  soles/kg.

- Según, Isidro Perca (2017), los costos unitarios por metro cúbico del agregado fino y grueso en la región de Puno es S/. 34.10 y S/. 27.44 respectivamente.

En ese sentido el concreto sustituido con nanosilice se basa en el costo beneficio.

Si una solución en particular requiere costos excesivos, se buscará una solución que proporcione costos no tan elevados.

Se realizó el análisis de costos al elemento estructural columna, con las siguientes consideraciones:

- Las columnas se predimensionan con:

$$bD = Pn / f'c$$

Donde:

D= dimensión de la sección en la dirección del análisis sísmico de la columna.

b= la otra dimensión de la sección de la columna.

P= carga total que soporta la columna.

n= valor que depende del tipo de columna.

$f'c$  = resistencia del concreto a la compresión simple.

- Una columna tipo C2 con área tributaria  $20m^2$ , altura 2.5m, cargas total que soporta la columna  $1000 Kg/m^2$ , de 10 niveles.



- Predimensionamiento de la columna con concreto normal y concreto con nanosilice.

$$P=1000kg/m^2 * 20m^2 = 20000kg. \quad ; n=0.25$$

Predimensionamiento de la columna, concreto normal  $f'c=357.15kg/cm^2$

$$bD = \frac{1.25 * 20000 * 10}{0.25 * 357.15} = 0.2800 m^2$$

Predimensionamiento de la columna, concreto con nanosilice  $f'c=453.28kg/cm^2$

$$bD = \frac{1.25 * 20000 * 10}{0.25 * 453.28} = 0.2206 m^2$$

### Volumen de Concreto

Volumen de concreto normal  $V1=0.3800 m^2 * 2.5m=0.7000m^3$

Volumen de concreto con nanosilice  $V2=0.2206 m^2 * 2.5m=0.5515m^3$

En las siguientes tablas se muestra el costo de materiales para la elaboración de cada tipo de concreto con diferentes porcentajes de nanosilice:

**Tabla 23**

**Costo unitario de materiales para el concreto: 100%C + 0%NS (CP)**

Material	Cantidad usada	Cantidad equivalente	Costo Unitario	Precio para 1m <sup>3</sup>
Cemento 100%	437.62 kg/m <sup>3</sup>	10.30 bls	S/. 21.7	S/. 223.44
NS 0%	0.00 kg/m <sup>3</sup>	0 kg	S/. 0	S/. 0.00
Agregado Fino	555.70 kg/m <sup>3</sup>	0.23 m <sup>3</sup>	S/. 34.1	S/. 7.80
Agregado Grueso	1116.16 kg/m <sup>3</sup>	0.43 m <sup>3</sup>	S/. 27.44	S/. 11.83
Agua	164.90 Lt/m <sup>3</sup>	0.16 m <sup>3</sup>	S/. 4.5	S/. 0.74
Costo total para 1 m <sup>3</sup> de concreto en soles				S/. 243.82
Volumen del concreto m <sup>3</sup>				0.7000
Costo total				S/. 170.67

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.





**Tabla 24**

**Costo unitario de materiales para el concreto: 99%C + 1%NS**

Material	Cantidad usada		Cantidad equivalente		Costo Unitario	Precio para 1m <sup>3</sup>	
Cemento 99%	433.24	kg/ m <sup>3</sup>	10.19	bls	S/ 21.7	S/.	221.21
NS 1%	4.38	kg/ m <sup>3</sup>	4.38	kg	S/ 7.32	S/.	32.06
Agregado Fino	548.65	kg/ m <sup>3</sup>	0.23	m <sup>3</sup>	S/ 34.1	S/.	7.70
Agregado Grueso	1116.1	kg/ m <sup>3</sup>	0.43	m <sup>3</sup>	S/ 27.44	S/.	11.83
Agua	165.15	Lt/ m <sup>3</sup>	0.17	m <sup>3</sup>	S/ 4.5	S/.	0.74
Costo total para 1 m <sup>3</sup> de concreto en soles						S/.	273.55
Volumen del concreto m <sup>3</sup>							0.6238
Costo total						S/.	170.65

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 25**

**Costo unitario de materiales para el concreto: 98.5%C + 1.5%NS**

Material	Cantidad usada		Cantidad equivalente		Costo Unitario	Precio para 1m <sup>3</sup>	
Cemento 98.5%	431.05	kg/ m <sup>3</sup>	10.14	bls	S/ 21.7	S/.	220.09
NS 1.5%	6.56	kg/ m <sup>3</sup>	6.56	kg	S/ 7.32	S/.	48.02
Agregado Fino	545.12	kg/ m <sup>3</sup>	0.22	m <sup>3</sup>	S/ 34.1	S/.	7.65
Agregado Grueso	1116.1	kg/ m <sup>3</sup>	0.43	m <sup>3</sup>	S/ 27.44	S/.	11.83
Agua	165.28	Lt/ m <sup>3</sup>	0.17	m <sup>3</sup>	S/ 4.5	S/.	0.74
Costo total para 1 m <sup>3</sup> de concreto en soles						S/.	288.34
Volumen del concreto m <sup>3</sup>							0.5955
Costo total						S/.	171.70

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 26**

**Costo unitario de materiales para el concreto: 98%C + 2%NS**

Material	Cantidad usada		Cantidad equivalente		Costo Unitario	Precio para 1m <sup>3</sup>	
Cemento 98%	428.87	kg/ m <sup>3</sup>	10.09	bls	S/ 21.7	S/.	218.95
NS 2%	8.75	kg/ m <sup>3</sup>	8.75	kg	S/ 7.32	S/.	64.05
Agregado Fino	541.59	kg/ m <sup>3</sup>	0.22	m <sup>3</sup>	S/ 34.1	S/.	7.60
Agregado Grueso	1116.1	kg/ m <sup>3</sup>	0.43	m <sup>3</sup>	S/ 27.44	S/.	11.83
Agua	165.41	Lt/ m <sup>3</sup>	0.17	m <sup>3</sup>	S/ 4.5	S/.	0.74
Costo total para 1 m <sup>3</sup> de concreto en soles						S/.	303.18
Volumen del concreto m <sup>3</sup>							0.5515
Costo total						S/.	16721

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 27**

**Costo unitario de materiales para el concreto: 97.5%C + 2.5%NS**

Material	Cantidad usada		Cantidad equivalente		Costo Unitario	Precio para 1m <sup>3</sup>		
Cemento 97.5%	426.68	kg/ m <sup>3</sup>	10.04	bls	S/. 21.7	S/.	217.86	
NS 2.5%	10.94	kg/ m <sup>3</sup>	10.94	kg	S/. 7.32	S/.	80.08	
Agregado Fino	538.07	kg/ m <sup>3</sup>	0.22	m <sup>3</sup>	S/. 34.1	S/.	7.55	
Agregado Grueso	1116.1	kg/ m <sup>3</sup>	0.43	m <sup>3</sup>	S/. 35	S/.	15.09	
Agua	165.54	Lt/ m <sup>3</sup>	0.17	m <sup>3</sup>	S/. 4.5	S/.	0.74	
Costo total para 1 m <sup>3</sup> de concreto en soles						S/.	318.07	
Volumen del concreto m <sup>3</sup>							0.5986	
Costo total						S/.	190.39	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 28**

**Costo unitario de materiales para el concreto: 97%C + 3%NS**

Material	Cantidad usada		Cantidad equivalente		Costo Unitario	Precio para 1m <sup>3</sup>		
Cemento 97%	424.49	kg/ m <sup>3</sup>	9.99	bls	S/. 21.7	S/.	216.74	
NS 3%	13.13	kg/ m <sup>3</sup>	13.13	kg	S/. 7.32	S/.	96.10	
Agregado Fino	534.54	kg/ m <sup>3</sup>	0.22	m <sup>3</sup>	S/. 34.1	S/.	7.50	
Agregado	1116.16	kg/ m <sup>3</sup>	0.43	m <sup>3</sup>	S/. 27.44	S/.	11.83	
Agua	165.66	Lt/ m <sup>3</sup>	0.17	m <sup>3</sup>	S/. 4.5	S/.	0.75	
Costo total para 1 m <sup>3</sup> de concreto en soles						S/.	332.92	
Volumen del concreto m <sup>3</sup>							0.6781	
Costo total						S/.	225.77	

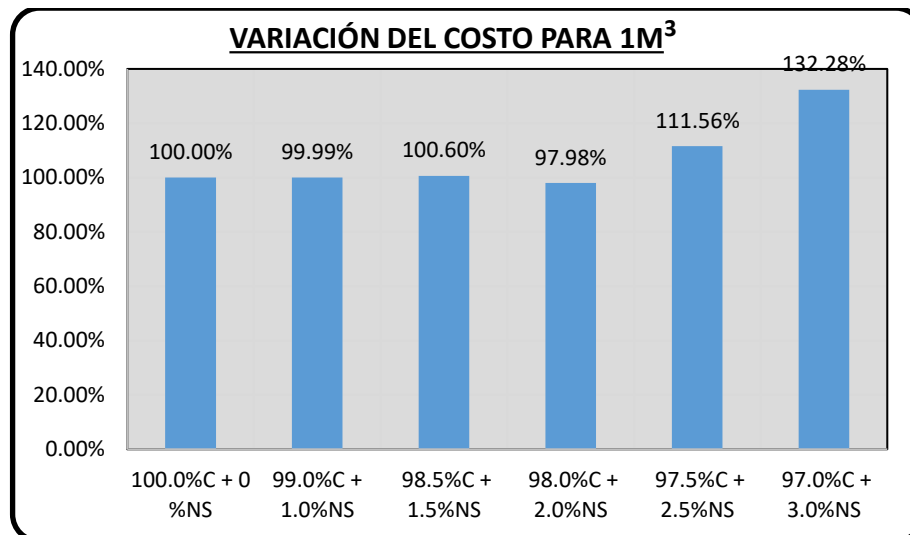
Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.

**Tabla 29**

**Resumen costo unitario de materiales**

Concreto con:	Precio	% de costo	% de variación de costos
Cemento 100.0%C + 0 %NS	S/. 170.67	100.00%	0.00%
Cemento 99.0%C + 1.0%NS	S/. 170.65	99.99%	-0.01%
Cemento 98.5%C + 1.5%NS	S/. 171.70	100.60%	0.60%
Cemento 98.0%C + 2.0%NS	S/. 167.21	97.98%	-2.02%
Cemento 97.5%C + 2.5%NS	S/. 190.39	111.56%	11.56%
Cemento 97.0%C + 3.0%NS	S/. 225.77	132.28%	32.28%

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



**Figura 19** Variación del costo del concreto para 1m<sup>3</sup>.

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

Analizando los datos de la tabla 29 y figura 19 se puede apreciar que los concretos con sustitución parcial al cemento por nanosílice presentan un ahorro de 0.01% y 2.02% en los diseños M-2 (99% C+1% NS) y M-4 (98% C+2% NS), respecto a los concretos que tuvieron mejoras en sus resistenticas. El concreto 98% C+2% NS, alcanzó su resistencia máxima de diseño, la cual es la más económica.

## 4.8. ANÁLISIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS.

### 4.8.1. Análisis estadístico.

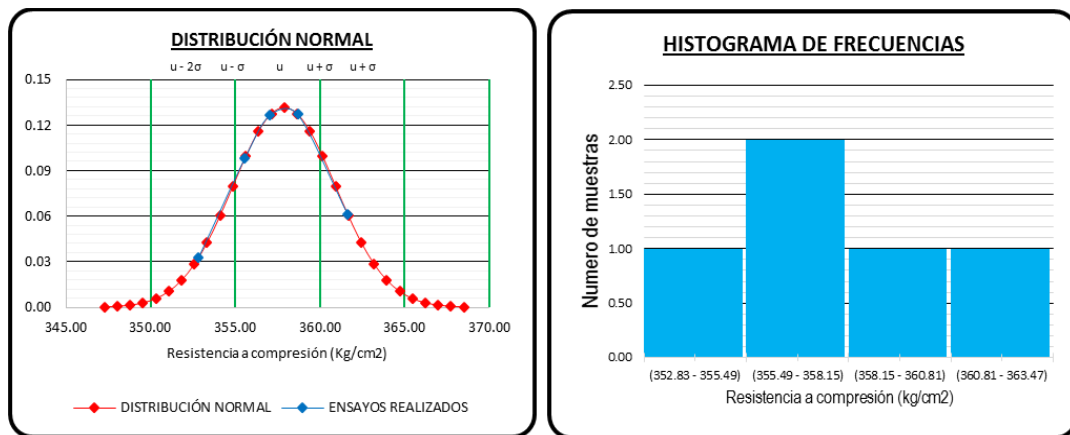
El proceso de cálculo de la distribución normal e histograma de frecuencias del concreto patrón M-1 y el concreto con sustitución de diferentes porcentajes de nanosílice se detalla en el anexo E-1, donde se sigue el procedimiento indicado en el acápite anterior. Para tener la certeza y confiabilidad de los resultados obtenidos son válidos se evaluó por los siguientes parámetros: desviación standard y coeficiente de variación, conjuntamente con la gráfica de distribución normal con los datos de resistencia a compresión a los 28 días:

**Tabla 30**

**Análisis Estadístico CP (100%C+0%NS) – Resistencia a la Compresión - 28 días**

Muestra	X	X-X <sub>i</sub>	(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	Calculo para la validación de datos	
CP - 1	358.68	1.53	2.34	Descripción	Valor
CP - 2	352.83	-4.31	18.62	n	5.00
CP - 3	357.02	-0.12	0.02	X <sub>i</sub>	357.15
CP - 4	355.56	-1.59	2.53	∑(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	43.75
CP - 5	361.65	4.50	20.24	Varianza σ <sup>2</sup>	10.94
				Des. Est. σ	3.31
				CV	0.93%
Confiabilidad	Dispersión total (σ)			Excelente	
	Dispersión entre testigo (CV)			Excelente	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo



**Figura 20** Distribución normal: concreto patrón (100%C+0%NS).

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

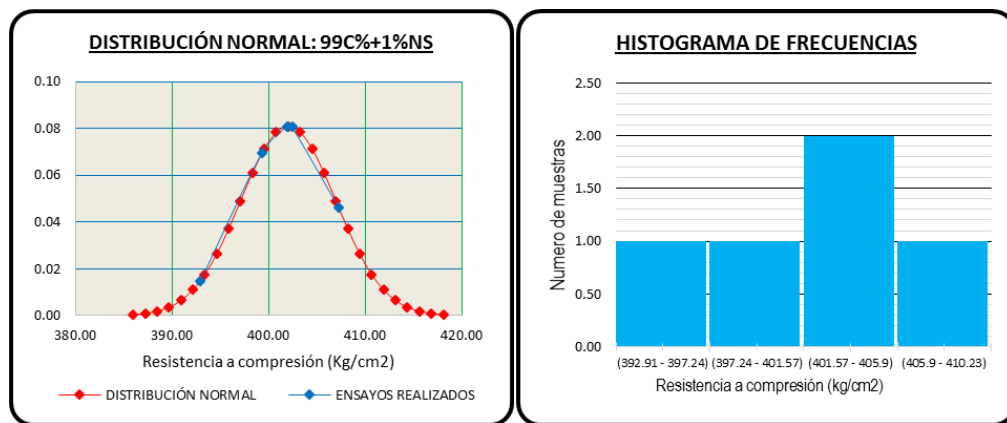
**Interpretación de tabla 30 y la figura 20:**

Observando la figura 4.14, dispersión total y dispersión entre testigos para validación de datos, esta distribución normal del concreto patrón M-1 (100%C+0%NS) presenta una desviación estándar de 3.31 menor a 14.1; considerado como excelente, un coeficiente de variación de 0.93 menor a 2 considerado como excelente. Tal como muestra la figura 4.4 existe una dispersión en todos los intervalos

**Tabla 31**  
**Análisis Estadístico 99%C+1%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días**

Muestra	X	X-X <sub>i</sub>	(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	Calculo para la validación de datos	
99.0%C+1.0%NS - 1	401.88	1.14	1.29	Descripción	Valor
99.0%C+1.0%NS - 2	392.91	-7.84	61.41	n	5.00
99.0%C+1.0%NS - 3	402.40	1.66	2.75	X <sub>i</sub>	400.74
99.0%C+1.0%NS - 4	407.23	6.48	42.04	∑(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	109.55
99.0%C+1.0%NS - 5	399.30	-1.44	2.07	Varianza σ <sup>2</sup>	27.39
				Des. Est. σ	5.23
				CV	1.31%
Confiabilidad	Dispersión total (σ)			Excelente	
	Dispersión entre testigos (CV)			Excelente	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



**Figura 21** Distribución normal: concreto patrón (99%C+1%NS).

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

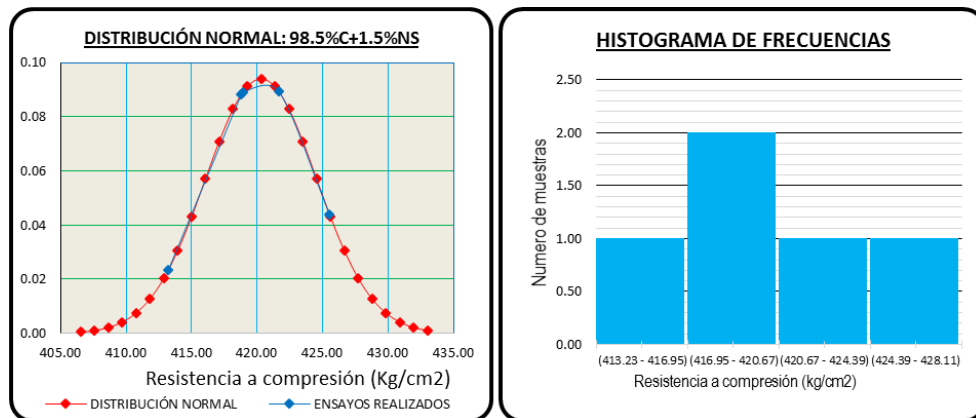
### Interpretación de tabla 31 y la figura 21:

Observando la tabla 31, dispersión total y dispersión entre testigos para validación de datos, esta distribución normal del concreto con NS, M-2 (99%C+1%NS) presenta una desviación estándar de 5.23 menor a 14.1; considerado como excelente, un coeficiente de variación de 1.31 menor a 2 considerado como excelente. Tal como muestra la figura 4.5 existe una dispersión Mínima.

**Tabla 32**  
**Análisis Estadístico 98.5%C+1.5%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días**

Muestra	X	X-X <sub>i</sub>	(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	Calculo para la validación de datos	
98.5%C+1.5%NS - 1	425.53	5.90	34.83	Descripción	Valor
98.5%C+1.5%NS - 2	413.23	-6.40	40.95	n	5.00
98.5%C+1.5%NS - 3	421.67	2.04	4.18	X <sub>i</sub>	419.63
98.5%C+1.5%NS - 4	418.80	-0.82	0.68	∑(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	81.15
98.5%C+1.5%NS - 5	418.91	-0.72	0.52	Varianza σ <sup>2</sup>	20.29
				Des. Est. σ	4.50
				CV	1.07
Confiabilidad	Dispersión total (σ)			Excelente	
	Dispersión entre testigos (CV)			Excelente	

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo.



**Figura 22** Distribución normal: concreto patrón (98.5%C+1.5%NS).

Fuente: Elaborado por el equipo de trabajo

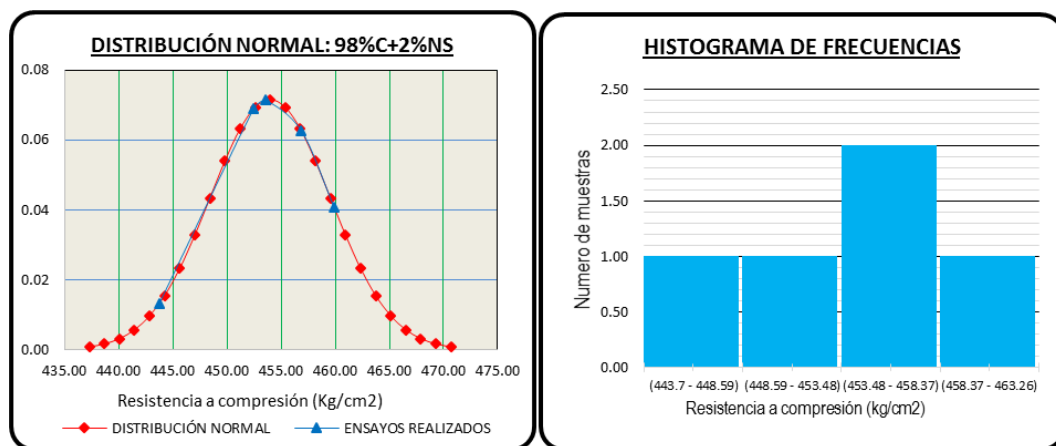
### Interpretación de tabla 32 y la figura 22:

Observando la tabla 32, dispersión total y dispersión entre testigos para validación de 8.5 datos, esta distribución normal del concreto con NS, M-3 (98.5%<sub>C</sub>+1.5%<sub>NS</sub>) presenta una desviación estándar de 4.50 menor a 14.1; considerado como excelente, un coeficiente de variación de 1.07 menor a 2 considerado como excelente. Tal como muestra la figura 4.6 existe una dispersión Mínima.

**Tabla 33**  
**Análisis Estadístico 98%C+2%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días**

Muestra	X	X-X <sub>i</sub>	(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	Calculo para la validación de datos	
98.0%C+2.0%NS - 1	452.45	-0.83	0.69	Descripción	Valor
98.0%C+2.0%NS - 2	456.85	3.57	12.76	n	5.00
98.0%C+2.0%NS - 3	453.52	0.24	0.06	X <sub>i</sub>	453.28
98.0%C+2.0%NS - 4	459.88	6.60	43.57	∑(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	148.82
98.0%C+2.0%NS - 5	443.70	-9.58	91.74	Varianza σ <sup>2</sup>	37.21
				Des. Est. σ	6.10
				CV	1.35
Confiabilidad	Dispersión total (σ)			Excelente	
	Dispersión entre testigo (CV)			Excelente	

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo



**Figura 23.** Distribución normal: concreto patrón (98%C+2%NS).

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo

### Interpretación de tabla 33 y la figura 23:

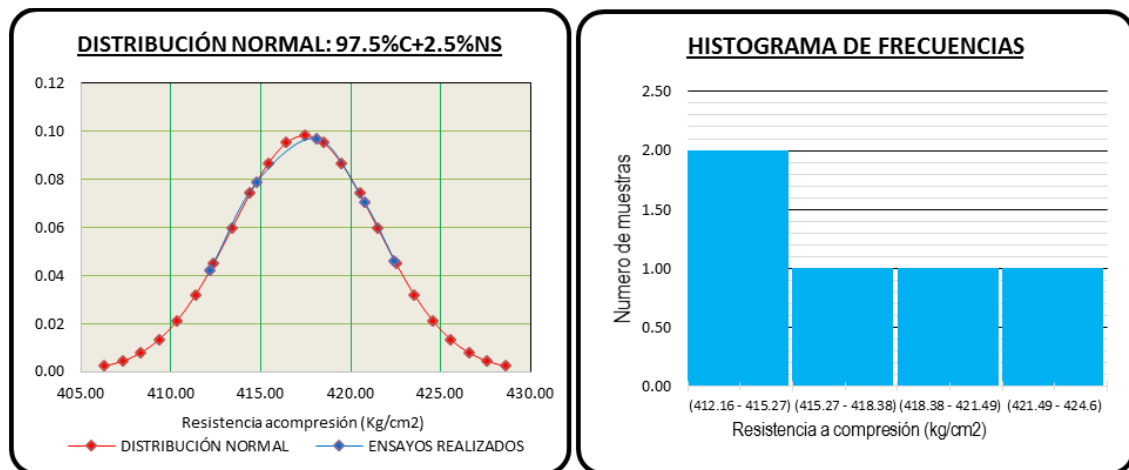
Observando la tabla 33, dispersión total y dispersión entre testigos para validación de datos, esta distribución normal del concreto con NS, M-4 (98%C+2%NS) presenta una desviación estándar de 6.10 menor a 14.1; considerado como excelente, un coeficiente de variación de 1.35 menor a 2 considerado como excelente. Tal como muestra la figura 4.7, existe una dispersión en todos los intervalos.

**Tabla 34**

**Análisis Estadístico 97.5%C+2.5%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días**

Muestra	X	X-X <sub>i</sub>	(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	Calculo para la validación de datos	
97.5%C+2.5%NS - 1	422.44	4.79	22.98	Descripción	Valor
97.5%C+2.5%NS - 2	414.74	-2.91	8.46	n	5.00
97.5%C+2.5%NS - 3	412.16	-5.48	30.03	X <sub>i</sub>	417.64
97.5%C+2.5%NS - 4	420.77	3.12	9.77	∑(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	71.45
97.5%C+2.5%NS - 5	418.11	0.47	0.22	Varianza σ <sup>2</sup>	17.86
				Des. Est. σ	4.23
				CV	1.01
Confiabilidad	Dispersión total (σ)			Excelente	
	Dispersión entre testigo (CV)			Excelente	

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo.



**Figura 24.** Distribución normal: concreto patrón (97.5%C+2.5%NS).

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo

### Interpretación de tabla 34 y la figura 24:

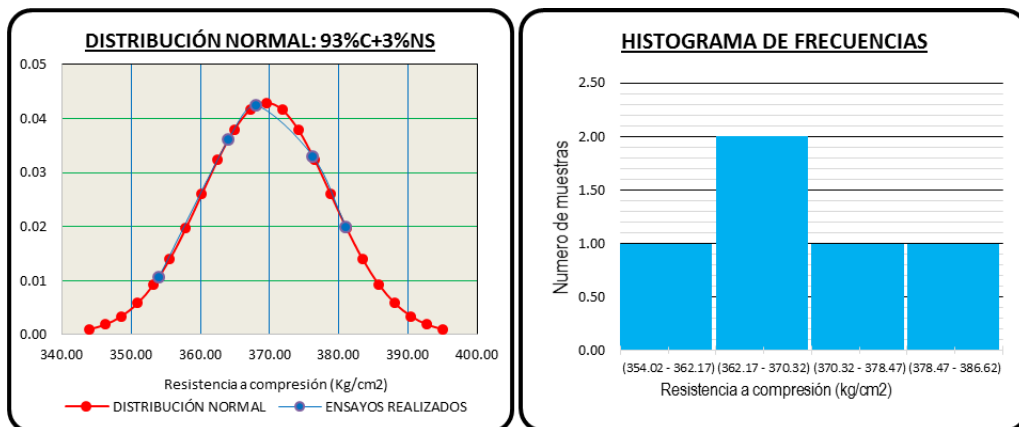
Observando la tabla 34, dispersión total y dispersión entre testigos para validación de datos, esta distribución normal del concreto con NS, M-5 (97.5%C+2.5%NS) presenta una desviación estándar de 4.23 menor a 14.1; considerado como excelente, un coeficiente de variación de 1.01 menor a 2 considerado como excelente. Tal como muestra la figura 4.8, existe una dispersión en todos los intervalos.



**Tabla 35**  
**Análisis Estadístico 97%C+3%NS – Resistencia a la Compresión - 28 días**

Muestra	X	X-X <sub>i</sub>	(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	Calculo para la validación de datos	
97.0%C+3.0%NS - 1	381.00	12.34	152.29	Descripción	Valor
97.0%C+3.0%NS - 2	376.23	7.57	57.28	n	5.00
97.0%C+3.0%NS - 3	354.02	-14.64	214.23	X <sub>i</sub>	368.66
97.0%C+3.0%NS - 4	364.03	-4.63	21.45	∑(X-X <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	445.65
97.0%C+3.0%NS - 5	368.02	-0.64	0.41	Varianza σ <sup>2</sup>	111.41
				Des. Est. σ	10.56
				CV	2.86
Confiabilidad	Dispersión total (σ)			excelente	
	Dispersión entre testigos (CV)			excelente	

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo.



**Figura 25.** Distribución normal: concreto patrón (93%C+3%NS).

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo

### Interpretación de tabla 35 y la figura 25:

Observando la tabla 35, dispersión total y dispersión entre testigos para validación de datos, esta distribución normal del concreto con NS, M-6 (97%<sub>C</sub>+3%<sub>NS</sub>) presenta una desviación estándar de 10.56 menor a 14.1; considerado como excelente, un coeficiente de variación de 2.82 mayor a 2 considerado como muy bueno. Tal como muestra la figura 4.9, existe una dispersión en todos los intervalos.



## **Prueba de hipótesis para la resistencia a la compresión del concreto.**

### **Paso N° 01. Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa**

Se va probar la hipótesis sobre la diferencia de medias: Si la resistencia del concreto mejora con el sustituto de cemento por nanosílice, en distintas proporciones del peso de cemento de 1%, 1.5%, 2%, 2.5% y 3%, frente a un concreto patrón.

$H_o$ : La sustitución parcial del cemento por nanosílice, no mejora la resistencia a la compresión del concreto  $f' = 350 \text{ kg/cm}^2$ .

$H_a$ : La sustitución parcial del cemento por nanosílice, mejora la resistencia a la compresión del concreto  $f' = 350 \text{ kg/cm}^2$ .

- La hipótesis nula:  $H_o: \mu_{\bar{x}_{NS}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$
- La hipótesis alternativa:  $H_a: \mu_{\bar{x}_{NS}} > \mu_{\bar{x}_C}$

### **Paso N° 02: Nivel de significancia**

En la práctica se acostumbra a utilizar niveles de significación del 0.05 ó 0.01, aunque igualmente pueden emplearse otros valores.

Si, por ejemplo, se elige un nivel de significación del 0.05 ó 5% al diseñar un ensayo de hipótesis, entonces hay aproximadamente 5 ocasiones en 100 en que se rechazaría la hipótesis cuando debería ser aceptada, es decir, se está con un 95% de confianza de que se toma la decisión adecuada.

En tal caso se dice que la hipótesis ha sido rechazada al nivel de significación del 0.05, lo que significa que se puede cometer error con una probabilidad de 0.05. (Cruz Ramirez, 2011)

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de:  $\alpha = 0.05$

### Paso N° 03: Identificar o seleccionar el estadístico de prueba

Se utilizó el método de la t de Student para la prueba de Hipótesis, ya que tenemos variables independientes cuantitativas, el número de variables es menor a 30.

#### 4.8.2. Prueba de hipótesis con la distribución t de student

Como la hipótesis a probar es: La aplicación de nanosílice, mejora significativamente la resistencia a compresión del concreto con resistencia 350 kg/cm<sup>2</sup>.

Entonces nuestra hipótesis es de la forma:

$$\mu_{\bar{X}_{NS}} > \mu_{\bar{X}_C}$$

Por consiguiente, se trata de un Test de una cola, con:

La hipótesis nula:  $H_0: \mu_{\bar{X}_{NS}} \leq \mu_{\bar{X}_C}$

La hipótesis alternativa:  $H_a: \mu_{\bar{X}_{NS}} > \mu_{\bar{X}_C}$

El estadístico de prueba para una distribución t-student con  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad es el siguiente:

$$t_p = \frac{\bar{X}_{NS} - \bar{X}_C}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}; S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 + 2}}$$

$\mu_{\bar{X}_{NS}}$ : Representa a la media aritmética de la resistencia a compresión del concreto con diferentes porcentajes de nanosílice.

$\mu_{\bar{X}_C}$ : Representa la media aritmética del concreto patrón.

Por ejemplo, para la resistencia a compresión del concreto a los 28 días con “99% Cemento Portland + 1% nanosílice” (99%<sub>C</sub> + 1%<sub>NS</sub>).

Resolviendo:

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} = \sqrt{\frac{(5 - 1) * 10.94 + (5 - 1) * 27.39}{5 + 5 - 2}} = 4.38$$

$$t_p = \frac{\bar{X}_{NS} - \bar{X}_C}{S_p * \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} = \frac{400.74 - 357.15}{4.38 * \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{1}{5}}} = 15.75$$

Similarmente para los demás tipos de concreto para todos a los 28 días de edad.

**Tabla 36**

**Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto a una edad de 28 días**

N° de ensayo	Resistencia del concreto (kg/cm <sup>2</sup> ); edad 28 días					
	100%C +0%NS	99%C+1 %NS	98.5%C+1. 5%NS	98%C+2 %NS	97.5%C+ 2.5%NS	97%C+3% NS
1	358.68	401.88	425.53	452.45	422.44	381.00
2	352.83	392.91	413.23	456.85	414.74	376.23
3	357.02	402.40	421.67	453.52	412.16	354.02
4	355.56	407.23	418.80	459.88	420.77	364.03
5	361.65	399.30	418.91	443.70	418.11	368.02
$n_i$	5	5	5	5	5	5
$X_i$	357.15	400.74	419.63	453.28	417.64	368.66
$S^2$	10.94	27.39	20.29	37.21	17.86	111.41
$X_{NS}-X_C$		43.59	62.48	96.13	60.49	11.51
CV	0.93	1.31	1.07	1.35	1.01	2.86
$S_p$		4.38	3.95	4.91	3.79	7.82
$t_p$		15.75	25.00	30.98	25.21	2.33

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo.

#### Paso N° 04: Formular la regla de decisión.

La regla de decisión se formula teniendo en cuenta que se trata de una prueba Unilateral (Una cola).

Para muestras unilaterales, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_{n+m-2} > t_{\alpha, n+m-2}, \text{ Tambien: } t_p > t_{\text{tabla}}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{\alpha, n+m-2} = t_{0.05, 5+5-2} = t_{0.05, 8} = 1.860$$

Como se muestra en la siguiente figura, donde si el  $t_p$  superior a 1.860, se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el  $t_p$  es inferior a 1.860 no se rechaza la nula.

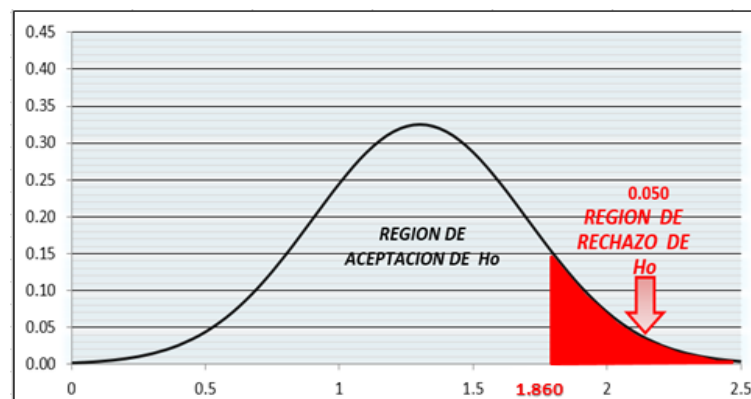


Figura 26. Gráfica de la distribución t para  $\alpha = 0.05$  y 8 grados de libertad.

Fuente: StatKey.com - Theoretical Distribution

#### Paso N° 05: Toma de una decisión.

La toma de una decisión (No se rechaza  $H_0$ , o se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_a$ ) se hará respecto a los estadísticos de prueba calculados anteriormente para la edad de 28 días del concreto.

Los estadísticos de prueba que se han calculado para cada tipo de concreto son:

**Tabla 37**  
**Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $t_p$  para el concreto a 28 días de edad**

Descripción	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6
Cemento	100% <sub>C</sub>	99% <sub>C</sub>	98.5% <sub>C</sub>	98% <sub>C</sub>	97.5% <sub>C</sub>	97% <sub>C</sub>
Nanosílice	0% <sub>NS</sub>	1% <sub>NS</sub>	1.5% <sub>NS</sub>	2% <sub>NS</sub>	2.5% <sub>NS</sub>	3% <sub>NS</sub>
$t_p$		15.75	25.00	30.98	25.21	2.33
$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_1+n_2-2$		12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
$t_{\text{tabla}}$		1.860	1.860	1.860	1.860	1.860
decisión		se rechaza $H_0$	se rechaza $H_0$	se rechaza $H_0$	se rechaza $H_0$	se rechaza $H_0$

Fuente: Elaborado por el grupo de trabajo.

De la anterior tabla se puede obtener una observación:

Los estadísticos de prueba para los grupos de concreto: M-2 (99%<sub>C</sub>+1%<sub>NS</sub>), M-3 (98.5%<sub>C</sub>+1.5%<sub>NS</sub>), M-4 (98%<sub>C</sub>+2%<sub>NS</sub>), M-5 (97.5%<sub>C</sub>+2.5%<sub>NS</sub>) y M-6 (97%<sub>C</sub>+3%<sub>NS</sub>) caen en la región donde “Se Rechaza la  $H_0$ ” de la curva de t student ( $t_p > t_{\text{tabla}}$ ), donde la  $H_0$  afirma que la resistencia a compresión del concreto con nanosílice es menor a la de un concreto sin nanosílice ( $\mu_{\bar{X}_{NS}} \leq \mu_{\bar{X}_C}$ ), y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo tanto, la resistencia a compresión del grupo de concreto con nanosílice (M-2, M-3 M-4, M-5 y M-6) es mayor al concreto patrón M-1 (100%<sub>C</sub>+0%<sub>NS</sub>) a la edad de 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

### DECISIÓN RESPECTO A LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La tabla 37 muestra el resumen de todo lo analizado anteriormente, con respecto a la resistencia a la compresión del concreto con sustitución diferentes porcentajes de nanosílice:

La hipótesis Nula ( $H_0$ ) planteada es:

$H_0$ : La sustitución parcial del cemento por nanosílice, no mejora la resistencia a la compresión del concreto  $f' = 350 \text{ kg/cm}^2$ .



De la tabla 37 afirmamos que: se acepta la hipótesis de investigación que afirma que la aplicación de un porcentaje de nanosílice como sustituto del cemento portland puzolánico tipo IP con agregados de la cantera Cutimbo mejora la resistencia del concreto a compresión a la edad de los 28 días, dicho porcentaje óptimo de nanosílice es el 2 % con respecto al peso del cemento portland puzolánico tipo IP de diseño.



## V. CONCLUSIONES

### 5.1. CONCLUSIÓN GENERAL

De acuerdo al objetivo general, el aditivo nanosílice, utilizado en el diseño de mezclas  $350 \text{ kg/cm}^2$  en la ciudad de Puno, del porcentaje de 1% al 3% mantiene una resistencia de diseño; además a los 28 días para estos porcentajes de nanosílice alcanzan resistencias por encima de la resistencia del concreto patrón; por lo tanto, se debe usar en el diseño de concreto  $350 \text{ kg/cm}^2$  la mezcla de nanosílice en proporciones menores al 2% y con respecto al costo unitario de materiales para la elaboración de concreto de los grupos de control; se concluye que estos disminuyen en los grupos de M-2 y M-4 conforme a la cantidad de nanosílice aumentado.

### 5.2. CONCLUSIONES ESPECÍFICAS

Se determinó que la resistencia a la compresión en los grupos de concreto  $99\%_C+1\%_{NS}$ ,  $98.5\%_C+1.5\%_{NS}$ ,  $98\%_C+2\%_{NS}$ ,  $97.5\%_C+2.5\%_{NS}$  y  $97\%_C+3\%_{NS}$  incrementa la resistencia a la compresión en 14.5%, 19.95%, 29.51%, 19.33% y 5.33% respectivamente, aceptándose la hipótesis general planteada a la edad de 28 días de su elaboración.

El porcentaje óptimo de sustitución del cemento por nanosílice es de 2% con la cual se obtiene la máxima resistencia de  $453.28 \text{ kg/cm}^2$ , más allá de este valor disminuye la resistencia del concreto, a los 28 días de curado. Además, los valores que se encuentran por encima de los  $350 \text{ kg/cm}^2$ , son todas las muestras realizadas desde M-2 hasta M-6.

El costo de producción por metro cúbico de concreto disminuye en 0.02% y 2.02% en muestras M-2 y M-4 con respecto al concreto patrón y el costo unitario de estas muestras son 170.65 soles y 167.21 soles respectivamente.





## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda sustituir nanosílice en el diseño planteado hasta 2% con respecto al peso del cemento, ya que la resistencia a la compresión disminuye mientras mayor sea la cantidad de NS.

Se recomienda que el nanosílice sea utilizado porque es amigable con el medio ambiente y el personal que lo manipula.

Se recomienda como futura investigación la utilización de cementos tipo no puzolánicos, para poder usar mayores cantidades de NS como sustituto al cemento, lo cual permitirá disminuir el costo de producción del concreto en mayor porcentaje.

Se recomienda usar el diseño del 2% del óptimo obtenido: cemento 428.87 kg, nanosílice 8.75 kg, agregado fino 589.12 kg, agregado grueso 1152.01 kg y agua 164.18 litros.



## VII. REFERENCIAS

### LIBROS Y TESIS

Parizaca Quispe , R. R. (2015). Comportamiento de la trabajabilidad y la resistencia a compresión de un concreto de alta resistencia inicial por adición de polímeros súperabsorbentes en la ciudad de Puno. Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Peru.

Abanto Castillo, F. (1995). Tecnología del concreto. Lima-Perú: San Marcos.

Aguila P., G. (2014). YURA S.A. - Class & Asociados S.A.

Arias Odon , F. (2012). El Proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica. Caracas - República Bolivariana de Venezuela: sexta edición: Episteme, C.A.

ASTM C 31/C 31M. (2003). Práctica estándar para fabricación y curado de especímenes de concreto. USA: ASTM Internacional.

ASTM C39/C39M. . (2014). Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto. USA: ASTM Internacional.

Castillo, F. A. (1995). Tecnología del concreto. Lima: San Marcos.

Hernández Sampieri, R. C., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). Metodología de la Investigación. México: 4ta Ed. McGraw-Hill Interamericana.

Huincho Salvatierra, E. (2011). Concreto de alta resistencia usando aditivo superplastificante, microsilice y nanosilice con cemento portland tipo I. Tesis de pregrado. Universidad de Ingeniería lima, Peru.

Association Concrete National Ready Mixed.



- Escobedo Portal, G. (2014), Incidencia de la nanosílice en la resistencia mecánica de un concreto de alta resistencia con cemento portland tipo I. tesis de pregrado. Universidad Nacional de cajamarca.
- Molina Villar, F. R., & Chara Surco, H. (2017), Influencia de la adición de nanosilice en las propiedades de un concreto de alta resistencia para la ciudad de arequipa. tesis de pregrado. Universidad Nacional de de San Agustín, Arequipa.
- Isidro Perca, G. (2017). Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto  $f'c$  210 kg/cm<sup>2</sup>. tesis de pregrado. Universidad Nacional de Altiplano. Puno, peru.
- López Ampuero, E., & Mamani Copari, J. J. (2017). Influencia del nanosílice y superplastificante en la durabilidad del concreto sometidos a ciclos de congelamiento y deshielo de la ciudad de Puno. tesis de pregrado: Universidad Nacional del Altiplano.
- Pachacutec Gutierrez, Y., & Vilca Salazar, N. (2018). Estudio comparativo de la determinación de propiedades de resistencia en el concreto utilizando micro y nano sílice con agregado de la cantera cutimbo - Puno. tesis de pregrado: Universidad Nacional del Altiplano.



## ANEXOS



## ANEXOS A: ENSAYOS DE LABORATORIO

### Anexo A-1: Constancia de laboratorio de construcciones



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

### CONSTANCIA DE USO DE EQUIPOS Y LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES

**EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES DE LA  
FICA**

**Hace constar:**

Que el tesista, conducente a la obtención del Título profesional de Ingeniero Civil Bach: **HELAR MENDOZA ALMONTE**, hizo uso de los equipos del Laboratorio de Construcciones - FICA, para realizar los ensayos requeridos para su proyecto de Tesis: **"INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCIÓN PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO - 2017."**

Los ensayos que realizó son los siguientes:

ITEM	ENSAYOS	NRO. DE ENSAYOS	FECHA DE ENSAYO
1	CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS: FINO Y GRUESO	2	03/10/2019
2	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LOS AGREGADOS: FINO Y GRUESO	2	02/08/2019
3	DENSIDAD (PESO UNITARIO) DE LOS AGREGADOS, SUELTO Y COMPACTADO: FINO Y GRUESO	2	02/08/2019
4	PESO ESPECÍFICO DE LOS AGREGADOS: FINO Y GRUESO	2	02/08/2019
5	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DE LOS AGREGADOS: FINO Y GRUESO.	2	02/08/2019
6	ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE PARA PROBETAS DE CONCRETO.	90	16/10/2019 al 21/10/2019 23/10/2019 al 28/10/2019 06/11/2019 al 09/11/2019
7	ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL PARA PROBETAS DE CONCRETO.	18	16/10/2019 al 21/10/2019 23/10/2019 al 28/10/2019 06/11/2019 al 09/11/2019

*Los resultados obtenidos, de los ensayos, no son responsabilidad del Laboratorio de Construcciones.*

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita del interesado, para adjuntar en su proyecto de Tesis.

Puno, C. U. 18 de Diciembre del 2019.

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES-FICA  
  
MSc. Ing. Gino F. Laque Zórdova  
JEFE DE LABORATORIO





## Anexo A-2: Granulometría del agregado fino



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES**



**REALIZADO POR** : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE.  
: "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

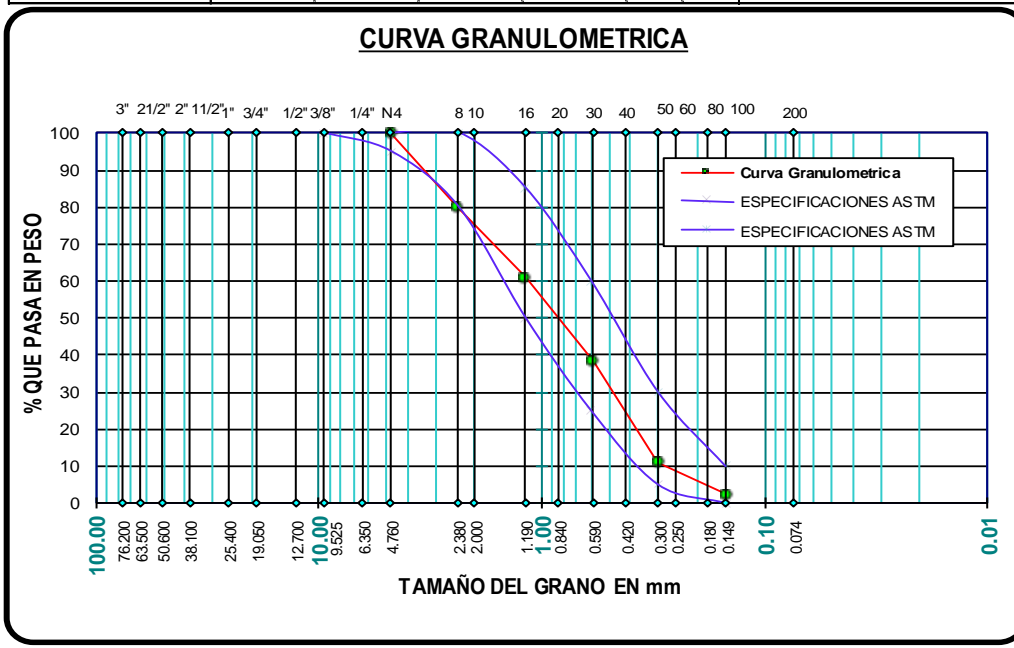
**TESIS**

**UBICACION** : FICA-CIUDAD UNIVERSITARIA.

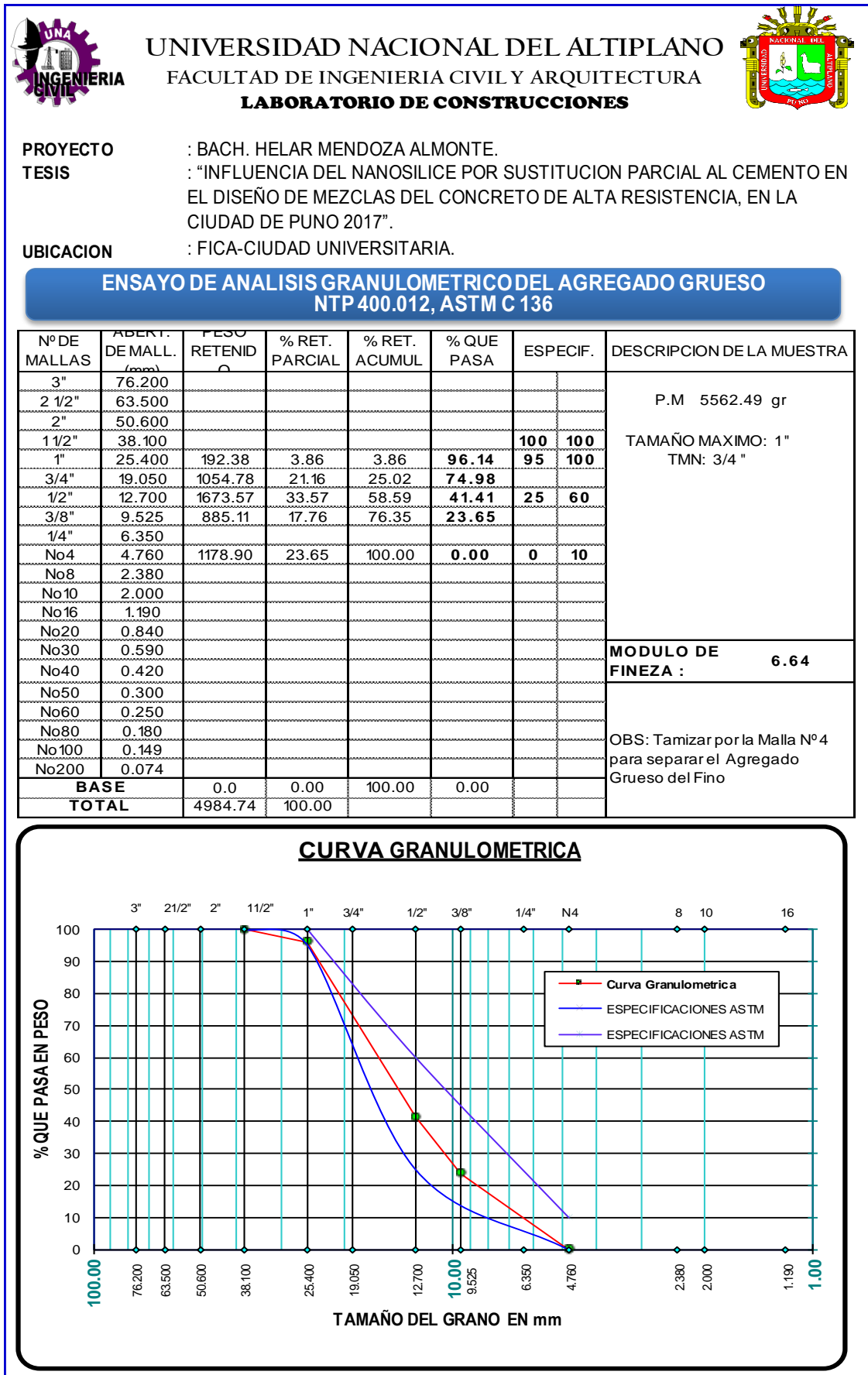
**CANTERA** : RIO CUTIMBO.

**ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO  
NTP 400.012, ASTM C 136**

Nº DE MALLAS	ABERT. DE MALL. (mm)	PESO RETENIDO (g)	% RET. PARCIAL	% RET. ACUMUL	% QUE PASA	ESPECIF.	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						P.I. 400.00 gr P.II. 398.75 gr  PI: Peso inicial PII: peso despues del ensayo
2 1/2"	63.500						
2"	50.600						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525					100	
1/4"	6.350						
No4	4.760	1.88	0.47	0.47	99.53	95 100	
No8	2.380	78.32	19.64	20.11	79.89	80 100	
No10	2.000						
No16	1.190	75.90	19.03	39.15	60.85	50 85	
No20	0.840						
No30	0.590	90.25	22.63	61.78	38.22	25 60	<b>MODULO DE FINEZA :</b> 3.08
No40	0.420						
No50	0.300	108.24	27.14	88.93	11.07	10 30	El modulo de fineza debe de estar dentro de los limites de 2.35 - 3.15, no debiendo excederse el limite en mas o menos 0.2 Max 3.35
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149	34.36	8.62	97.54	2.46	2 10	
No200	0.074	8.86	2.22	99.76	0.24		
<b>BASE</b>		0.94	0.24	100.00	0.00		
<b>TOTAL</b>		398.75	100.00				



### Anexo A-3: Granulometría del agregado grueso





## Anexo A-4: Peso específico y absorción de agregados



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**REALIZADO POR** : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE.  
**TESIS** : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".  
**UBICACION** : FICA-CIUDAD UNIVERSITARIA.  
**CANTERA** : RIO CUTIMBO.

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO  
NTP 400.021, NTP 400.022, ASTM C 127 Y ASTM C 128**

### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO FINO

#### DATOS

A	PESO SECO DE LA MUESTRA ( $W_m$ )	488.19
B	PESO DE LA FIOLA + AGUA ( $W_f+w$ )	707.46
C	$W_m$ + PESO DE LA FIOLA+ AGUA ( $W_m+w_f+w$ )	1004.79
D	PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECO ( $W_{sss}$ )	500.00
E	PESO DE LA TARA	113.39
F	PESO SECO DE LA MUESTRA LLEVADA AL HORNO	601.58

#### RESULTADOS

1	PESO ESPECIFICO APARENTE P.E.A.: $A/(B+D-C)$	2.41
2	PESO ESPECIFICO APARENTE P.E.A. (S.S.S.): $D / (B+D-C)$	2.47
3	PESO ESPECIFICO NOMINAL P.E.N. : $A/(B+A-C)$	2.56
4	PORCENTAJE DE ABSORCION: %ABS. $((D-A)/A)*100$	2.42

### PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADO GRUESO

#### DATOS

A	PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO I ( $W_m$ )	1937.71
B	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO ( $W_{sss}$ )	2000.00
C	PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO	1189.15
D	PESO SUMERGIDO DE LA CANASTILLA + MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECO	1361.10
E	PESO SUMERGIDO DE LA CANASTILLA	171.95

#### RESULTADOS

1	PESO ESPECIFICO APARENTE P.E.A.: $A/(B-C)$	2.39
2	PESO ESPECIFICO APARENTE P.E.A. (S.S.S.): $B / (B-C)$	2.47
3	PESO ESPECIFICO NOMINAL P.E.N. : $A/(A-C)$	2.59
4	PORCENTAJE DE ABSORCION: %ABS. $((B-A)/A)*100$	3.21





## Anexo A-5: Contenido de humedad de agregados



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES**



REALIZADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE.

TESIS : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

UBICACION : FICA-CIUDAD UNIVERSITARIA.

CANTERA : RIO CUTIMBO.

**ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DE LOS AGREGADOS  
NTP 400.016, ASTM C 566**

### AGREGADO FINO

Nro De Tara	B-1	A-15	B-12
Peso de Tara	28.64	32.4	33.6
Peso de Tara + M. Humeda	172.39	181.2	167.67
Peso de Tara + M. Seca	164.1	172.4	159.97
Peso de Agua	8.29	8.8	7.7
Peso Muestra Seca	135.46	140	126.37
Contenido de humedad W%	6.12	6.29	6.09
Promedio cont. Humedad W%	6.17		

### AGREGADO GRUESO

Nro De Tara	M-5	M-3	M-1
Peso de Tara	27.26	27.02	29.27
Peso de Tara + M. Humeda	320	382.4	280.56
Peso de Tara + M. Seca	309.31	373.21	273.13
Peso de Agua	10.69	9.19	7.43
Peso Muestra Seca	282.05	346.19	243.86
Contenido de humedad W%	3.79	2.65	3.05
Promedio cont. Humedad W%	3.16		



## Anexo A-6: Peso unitario del agregado fino y grueso



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES**



**REALIZADO POR** : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE.

**TESIS** : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

**UBICACION** : FICA-CIUDAD UNIVERSITARIA.

**CANTERA** : RIO CUTIMBO.

### ENSAYO DE PESO UNITARIO DEL AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO

#### AGREGADO FINO

##### **PESO UNITARIO SUELTO**

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	10020	10020	10020
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	18520	18540	18510
PESO DE LA MUESTRA gr.	8500	8520	8490
VOLUMEN DEL MOLDE cm <sup>3</sup> ,	5462	5480	5498
PESO UNITARIO Gr/Cm <sup>3</sup> ,	1.556	1.555	1.544
PESO UNITARIO SECO KG/M <sup>3</sup> .	1.552		

##### **PESO UNITARIO COMPACTADO**

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	10020	10020	10020
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	18950	19035	19035
PESO DE LA MUESTRA gr.	8930	9015	9015
VOLUMEN DEL MOLDE cm <sup>3</sup> ,	5462	5480	5498
PESO UNITARIO Gr/Cm <sup>3</sup> ,	1.635	1.645	1.640
PESO UNITARIO SECO KG/M <sup>3</sup> .	1.640		

#### AGREGADO GRUESO

##### **PESO UNITARIO SUELTO**

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	10020	10020	10020
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	17920	17900	17910
PESO DE LA MUESTRA gr.	7900	7880	7890
VOLUMEN DEL MOLDE cm <sup>3</sup> ,	5462	5480	5498
PESO UNITARIO Gr/Cm <sup>3</sup> ,	1.446	1.438	1.435
PESO UNITARIO SECO KG/M <sup>3</sup> .	1.440		

##### **PESO UNITARIO COMPACTADO**

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE gr.	10020	10020	10020
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	18510	18480	18570
PESO DE LA MUESTRA gr.	8490	8460	8550
VOLUMEN DEL MOLDE cm <sup>3</sup> ,	5462	5480	5498
PESO UNITARIO Gr/Cm <sup>3</sup> ,	1.554	1.544	1.555
PESO UNITARIO SECO KG/M <sup>3</sup> .	1.551		



## ANEXOS B: RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

### Anexo B-1: Ensayo de Resistencia a Compresión



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES**



**SOLICITADO POR** : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE  
**PROYECTO** : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCIÓN PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUÑO 2017".  
**UBICACIÓN** : FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA  
**MUESTRA** : BRIQUETAS DE CONCRETO PATRON Y CONCRETO CON % DE NANOSILICE  
**DISEÑO** :  $f_c=350 \text{ Kg/cm}^2$   
**FECHA DE EMISIÓN** : 18 DE DICIEMBRE DEL 2019

#### ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO 7 DIAS

PROB. N°	DESCRIPCIÓN	SLUM Pulg.	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIMENSIONES		AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA DEL DIAL (Kg)	RESISTENCIA		% DE RESISTENCIA
						Diámetro (cm)	altura (cm)			ROTURA $f_c = \text{Kg/cm}^2$	DISEÑO $f_c = \text{Kg/cm}^2$	
1	CP	3"-4"	09/10/2019	16/10/2019	7	15.31	30.35	184	39.930	216.90	350	61.97%
2	CP	3"-4"	09/10/2019	16/10/2019	7	15.21	30.15	182	38.540	212.11	350	60.60%
3	CP	3"-4"	09/10/2019	16/10/2019	7	15.03	30.10	177	37.580	211.81	350	60.52%
4	CP	3"-4"	09/10/2019	16/10/2019	7	15.09	30.12	179	37.560	210.02	350	60.01%
5	CP	3"-4"	09/10/2019	16/10/2019	7	15.31	30.60	184	38.360	208.51	350	59.57%
6	CP - 1%	6" - 9"	10/10/2019	17/10/2019	7	15.41	30.43	187	44.500	238.60	350	68.17%
7	CP - 1%	6" - 9"	10/10/2019	17/10/2019	7	15.33	30.61	184	42.180	228.67	350	65.34%
8	CP - 1%	6" - 9"	10/10/2019	17/10/2019	7	15.41	30.45	186	46.980	252.06	350	72.02%
9	CP - 1%	6" - 9"	10/10/2019	17/10/2019	7	15.31	30.32	184	46.880	254.65	350	72.76%
10	CP - 1%	6" - 9"	10/10/2019	17/10/2019	7	15.40	30.42	186	46.630	261.25	350	74.64%
11	CP - 1.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.17	3.46	181	50.580	280.03	350	80.01%
12	CP - 1.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.33	30.36	185	50.100	271.43	350	77.55%
13	CP - 1.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.38	30.51	186	47.570	256.05	350	73.16%
14	CP - 1.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.32	30.46	184	48.220	261.59	350	74.74%
15	CP - 1.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.27	30.42	183	48.630	265.54	350	75.87%



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
Laboratorio de Construcción  
MSc. Helar Mendoza Almonte  
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



SOLICITADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE  
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".  
 UBICACIÓN : FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA  
 MUESTRA : BRIQUETAS DE CONCRETO PATRON Y CONCRETO CON % DE NANOSILICE  
 DISEÑO :  $f_c=350 \text{ Kg/cm}^2$   
 FECHA DE EMISION : 18 DE DICIEMBRE DEL 2019

**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO 7 DIAS**

PROB. N°	DESCRIPCIÓN	SLUM Pulg.	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIMENSIONES		AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA DEL DIAL (Kg)	RESISTENCIA		% DE RESISTENCIA
						Diámetro (cm)	altura (cm)			ROTURA $f_c=Kg/cm^2$	DISEÑO $f_c =Kg/cm^2$	
16	CP - 2%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.18	30.34	181	52.110	287.93	350	82.27%
17	CP - 2%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.24	30.39	182	52.950	290.27	350	82.94%
18	CP - 2%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.35	30.44	185	56.760	306.72	350	87.63%
19	CP - 2%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.22	30.33	182	56.320	309.56	350	88.45%
20	CP - 2%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.28	30.42	183	54.470	297.04	350	84.87%
21	CP - 2.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.18	30.27	181	50.470	278.87	350	79.68%
22	CP - 2.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.20	30.23	181	52.250	287.94	350	82.27%
23	CP - 2.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.34	30.33	185	51.040	276.17	350	78.90%
24	CP - 2.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.28	30.22	183	52.140	284.34	350	81.24%
25	CP - 2.5%	6" - 9"	12/10/2019	19/10/2019	7	15.26	30.36	183	52.320	286.07	350	81.73%
26	CP - 3%	6" - 9"	14/10/2019	21/10/2019	7	15.20	30.35	181	48.040	264.74	350	75.64%
27	CP - 3%	6" - 9"	14/10/2019	21/10/2019	7	15.03	30.19	177	48.950	276.08	350	78.88%
28	CP - 3%	6" - 9"	14/10/2019	21/10/2019	7	15.28	30.15	183	48.320	263.68	350	75.34%
29	CP - 3%	6" - 9"	14/10/2019	21/10/2019	7	15.12	30.10	180	49.050	273.18	350	78.05%
30	CP - 3%	6" - 9"	14/10/2019	21/10/2019	7	15.18	30.37	181	49.100	271.48	350	77.57%

OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
Laboratorio de Construcciones-FICA  
MSc. Dr. Gerardo Enrique Córdova  
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



SOLICITADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE  
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".  
 UBICACIÓN : FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA  
 MUESTRA : BRIQUETAS DE CONCRETO PATRON Y CONCRETO CON % DE NANOSILICE  
 DISEÑO :  $f_c=350 \text{ Kg/cm}^2$   
 FECHA DE EMISION : 18 DE DICIEMBRE DEL 2019

**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO 14 DIAS**

PROB. N°	DESCRIPCIÓN	SLUM Puig.	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIMENSIONES		AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA DEL DIAL (Kg)	RESISTENCIA		% DE RESISTENCIA
						Diametro (cm)	altura (cm)			ROTURA $f_c=Kg/cm^2$	DISEÑO $f_c =Kg/cm^2$	
1	CP	3"- 4"	09/10/2019	23/10/2019	14	15.28	30.21	183.25	48,960	267.17	350	76.33%
2	CP	3"- 4"	09/10/2019	23/10/2019	14	15.30	30.20	183.85	47,410	257.87	350	73.68%
3	CP	3"- 4"	09/10/2019	23/10/2019	14	15.30	30.52	183.85	48,190	262.11	350	74.89%
4	CP	3"- 4"	09/10/2019	23/10/2019	14	15.32	30.42	184.33	47,640	258.44	350	73.84%
5	CP	3"- 4"	09/10/2019	23/10/2019	14	15.25	30.25	182.65	48,670	266.46	350	76.13%
6	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	24/10/2019	14	15.24	30.27	182.41	54,510	298.82	350	85.38%
7	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	24/10/2019	14	15.32	30.35	184.33	54,180	293.92	350	83.98%
8	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	24/10/2019	14	15.31	30.44	184.09	55,290	300.34	350	85.81%
9	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	24/10/2019	14	15.28	30.40	183.37	55,120	300.59	350	85.88%
10	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	24/10/2019	14	15.36	30.55	185.30	55,190	297.84	350	85.10%
11	CP-1.5%	6"- 9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.25	30.36	182.65	57,730	316.06	350	90.30%
12	CP-1.5%	6"- 9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.24	30.50	182.41	59,900	328.37	350	93.82%
13	CP-1.5%	6"- 9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.20	30.35	181.46	61,070	336.55	350	96.16%
14	CP-1.5%	6"- 9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.18	30.30	180.98	61,200	338.16	350	96.62%
15	CP-1.5%	6"- 9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.38	30.51	185.78	61,450	330.76	350	94.50%



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES-FICA  
 MSC. Ing. Gino P. Laque Córdoba  
JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



SOLICITADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE  
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUÑO 2017".  
 UBICACIÓN : FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA  
 MUESTRA : BRIQUETAS DE CONCRETO PATRON Y CONCRETO CON % DE NANOSILICE  
 DISEÑO : f'c=350 Kg/cm<sup>2</sup>  
 FECHA DE EMISION : 18 DE DICIEMBRE DEL 2019

**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO 14 DIAS**

PROB. N°	DESCRIPCIÓN	SLUM Pulg.	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIMENSIONES		AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA DEL DIAL (Kg)	RESISTENCIA		% DE RESISTENCIA
						Diametro (cm)	altura (cm)			ROTURA f'c=Kg/cm <sup>2</sup>	DISEÑO f'c =Kg/cm <sup>2</sup>	
16	CP-2%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.26	30.35	182.89	64.370	351.95	350	100.56%
17	CP-2%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.36	30.45	185.30	64.570	348.46	350	99.56%
18	CP-2%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.27	30.41	183.13	63.940	349.14	350	99.76%
19	CP-2%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.32	30.38	184.33	64.440	349.58	350	99.88%
20	CP-2%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.25	30.30	182.65	64.150	351.21	350	100.35%
21	CP-2.5%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.25	30.07	182.65	54.150	296.46	350	84.70%
22	CP-2.5%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.22	30.28	181.94	58.740	322.86	350	92.25%
23	CP-2.5%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.25	30.25	182.65	61.760	338.13	350	96.61%
24	CP-2.5%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.20	30.32	181.46	61.260	337.60	350	96.46%
25	CP-2.5%	6"-9"	12/10/2019	26/10/2019	14	15.27	30.15	183.13	61.570	336.20	350	96.05%
26	CP-3%	6"-9"	14/10/2019	28/10/2019	14	15.33	30.06	184.58	58.170	315.16	350	90.04%
27	CP-3%	6"-9"	14/10/2019	28/10/2019	14	15.42	30.10	186.75	57.570	308.27	350	88.08%
28	CP-3%	6"-9"	14/10/2019	28/10/2019	14	15.36	30.31	185.30	54.850	296.01	350	84.57%
29	CP-3%	6"-9"	14/10/2019	28/10/2019	14	15.33	30.25	184.58	55.630	301.39	350	86.11%
30	CP-3%	6"-9"	14/10/2019	28/10/2019	14	15.50	30.28	188.69	57.740	306.00	350	87.43%

OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 Laboratorio de Construcciones-2017  
 MSc. Helar Méndez Almonte  
 JEFE DE LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



SOLICITADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE  
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".  
 UBICACIÓN : FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA  
 MUESTRA : BRIQUETAS DE CONCRETO PATRON Y CONCRETO CON % DE NANOSILICE  
 DISEÑO :  $f_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$   
 FECHA DE EMISION : 18 DE DICIEMBRE DEL 2019

**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO 28 DIAS**

PROB. N°	DESCRIPCIÓN	SLUM Puig.	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIMENSIONES		AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA DEL DIAL (Kg)	RESISTENCIA		% DE RESISTENCIA
						Diámetro (cm)	altura (cm)			ROTURA $f_c = \text{Kg/cm}^2$	DISEÑO $f_c = \text{Kg/cm}^2$	
1	CP	3"- 4"	09/10/2019	06/11/2019	28	15.34	30.45	184.82	66,290	358.68	350	102.48%
2	CP	3"- 4"	09/10/2019	06/11/2019	28	15.30	30.31	183.85	64,870	352.83	350	100.81%
3	CP	3"- 4"	09/10/2019	06/11/2019	28	15.35	30.40	185.06	66,070	357.02	350	102.01%
4	CP	3"- 4"	09/10/2019	06/11/2019	28	15.28	30.22	183.37	65,200	355.56	350	101.59%
5	CP	3"- 4"	09/10/2019	06/11/2019	28	15.24	30.18	182.41	65,970	361.65	350	103.33%
6	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.32	30.41	184.33	74,080	401.88	350	114.82%
7	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.43	30.36	186.99	73,470	392.91	350	112.26%
8	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.34	30.46	184.82	74,370	402.40	350	114.97%
9	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.30	30.42	183.85	74,870	407.23	350	116.35%
10	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.26	30.25	182.89	73,030	399.30	350	114.09%
11	CP-1.5%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.36	30.13	185.30	78,850	425.53	350	121.58%
12	CP-1.5%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.40	30.46	186.27	76,970	413.23	350	118.07%
13	CP-1.5%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.25	30.18	182.65	77,020	421.67	350	120.48%
14	CP-1.5%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.28	30.11	183.37	76,980	419.80	350	119.94%
15	CP-1.5%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.33	30.10	184.58	77,320	418.91	350	119.69%



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES-FICA  
MARCOS ARRIO F. LAQUE CORDOVA  
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



SOLICITADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE  
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".  
 UBICACIÓN : FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA  
 MUESTRA : BRIQUETAS DE CONCRETO PATRON Y CONCRETO CON % DE NANOSILICE  
 DISEÑO :  $f_c = 350 \text{ Kg/cm}^2$   
 FECHA DE EMISION : 18 DE DICIEMBRE DEL 2019

**ENSAYO DE COMPRESION SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO 28 DIAS**

PROB. N°	DESCRIPCIÓN	SLUM Pulg.	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIMENSIONES		AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA DEL DIAL (Kg)	RESISTENCIA		% DE RESISTENCIA
						Diametro (cm)	altura (cm)			ROTURA $f_c = \text{Kg/cm}^2$	DISEÑO $f_c = \text{Kg/cm}^2$	
16	CP-2%	6"- 9"	11/10/2019	08/11/2019	28	15.26	30.43	182.89	82750	452.45	350	129.27%
17	CP-2%	6"- 9"	11/10/2019	08/11/2019	28	15.20	30.40	181.46	82900	456.85	350	130.53%
18	CP-2%	6"- 9"	11/10/2019	08/11/2019	28	15.23	30.20	182.18	82620	453.52	350	129.58%
19	CP-2%	6"- 9"	11/10/2019	08/11/2019	28	15.18	30.12	180.98	83230	459.88	350	131.39%
20	CP-2%	6"- 9"	11/10/2019	08/11/2019	28	15.32	30.46	184.33	81790	443.70	350	126.77%
21	CP-2.5%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.32	30.43	184.33	77,870	422.44	350	120.70%
22	CP-2.5%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.36	30.40	185.30	76,850	414.74	350	118.50%
23	CP-2.5%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.28	30.36	183.37	75,580	412.16	350	117.76%
24	CP-2.5%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.30	30.26	183.85	77,360	420.77	350	120.22%
25	CP-2.5%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.23	30.20	182.18	76,170	418.11	350	119.46%
26	CP-3%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.24	30.37	182.41	69,500	381.00	350	108.86%
27	CP-3%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.27	30.32	183.13	68,900	376.23	350	107.49%
28	CP-3%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.36	30.18	185.30	65,600	354.02	350	101.15%
29	CP-3%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.22	30.33	181.94	66,230	364.03	350	104.01%
30	CP-3%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.20	30.25	181.46	66,780	368.02	350	105.15%

OBSERVACIONES:



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
Laboratorio de Ensayos Mecánicos  
MSc. Ing. GILBERTO LUIS CARRERA  
JEFE DE LABORATORIO



## Anexo B-2: Ensayo de resistencia a la tracción por compresión diametral



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



SOLICITADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE  
 PROYECTO : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUÑO 2017".  
 UBICACIÓN : FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA  
 MUESTRA : BRIQUETAS DE CONCRETO PATRON Y CONCRETO CON % DE NANOSILICE  
 DISEÑO :  $f_c = 350$  Kg/cm<sup>2</sup>  
 FECHA DE EMISION : 18 DE DICIEMBRE DEL 2019

### ENSAYO A TRACCIÓN POR COMPRESION DIAMETRAL DE CONCRETO 28 DIAS

PROB. N°	DESCRIPCIÓN	SLUM Pulg.	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (días)	DIMENSIONES		AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA DEL DIAL (Kg)	RESISTENCIA		% DE RESISTENCIA A TRACCIÓN
						Diametro (cm)	altura (cm)			ROTURA $f_c = \text{Kg/Cm}^2$	DISEÑO $f_c = \text{Kg/cm}^2$	
1	CP	3"- 4"	09/10/2019	06/11/2019	28	15.22	30.32	181.94	18.300	25.25	350	7.21%
2	CP	3"- 4"	09/10/2019	06/11/2019	28	15.29	30.31	183.61	16.700	22.94	350	6.55%
3	CP	3"- 4"	09/10/2019	06/11/2019	28	15.25	30.40	182.65	18.850	25.88	350	7.40%
4	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.26	30.41	182.77	22.380	30.71	350	8.77%
5	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.24	30.36	182.41	23.200	31.92	350	9.12%
6	CP-1%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.27	30.46	183.01	22.300	30.53	350	8.72%
7	CP-1.5%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.19	30.13	181.10	24.450	34.02	350	9.72%
8	CP-1.5%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.25	30.46	182.65	24.630	33.76	350	9.64%
9	CP-1.5%	6"- 9"	10/10/2019	07/11/2019	28	15.18	30.18	180.98	24.800	34.46	350	9.85%
10	CP-2%	6"- 9"	11/10/2019	08/11/2019	28	15.23	30.43	182.18	27.050	37.16	350	10.62%
11	CP-2%	6"- 9"	11/10/2019	08/11/2019	28	15.23	30.40	182.06	26.000	35.76	350	10.22%
12	CP-2%	6"- 9"	11/10/2019	08/11/2019	28	15.18	30.20	180.86	27.850	38.69	350	11.05%
13	CP-2.5%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.28	30.43	183.25	22.450	30.75	350	8.79%
14	CP-2.5%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.13	30.36	179.67	23.550	32.65	350	9.33%
15	CP-2.5%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.24	30.26	182.30	22.180	30.63	350	8.75%
16	CP-3%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.25	30.37	182.65	21.280	29.25	350	8.36%
17	CP-3%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.31	30.32	184.09	21.990	30.16	350	8.62%
18	CP-3%	6"- 9"	12/10/2019	09/11/2019	28	15.20	30.22	181.46	21.250	29.45	350	8.41%

OBSERVACIONES:




UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES-PCA  
MSc. Dg. Ciro F. Laque Górdova  
JEFE DE LABORATORIO



## ANEXO C: CONTROLES DE CALIDAD

### Anexo C-1: Certificado de calidad del nanosílice

 Fabricación y Comercialización de Aditivos para Concretos y Morteros

**CERTIFICADO DE CALIDAD**

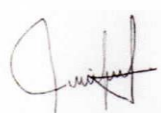
El departamento técnico de Industrias Ulmen S.A. Certifica que el producto que se indica cumple los requisitos de uniformidad indicados en la norma NTP 334.088, y con nuestros estándares de calidad.

Producto : GAIA  
Lote : 15830319  
Fabricado : 29/07/2019  
Vence : 29/01/2020

Los parámetros controlados se muestran a continuación

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO
Densidad	1,03 ± 0,02 (g/ml)	1,035
Sólidos	15 ± 1,8 (%)	14,6
Color	Blanco Opalescente	Cumple


El presente aditivo tiene una vida útil de 6 meses almacenado en lugar fresco y protegido del sol, recomendado por nuestro Sistema de Control de Calidad, certificado bajo ISO 9001:2015

  
Alfredo Marín Tovar  
Encargado de Control de Calidad  
Industrias Ulmen S.A.

[www.ulmen.cl](http://www.ulmen.cl) [ulmen@ulmen.cl](mailto:ulmen@ulmen.cl)

## Anexo C-2: Certificado de calidad cemento portland tipo IP

# CERTIFICADO DE CALIDAD


  
**RUMI**


**CEMENTO PORTLAND TIPO IP**

	TURA	ASTM C 595 NTP 204.090
<b>REQUERIMIENTOS QUIMICOS:</b>		
Óxido de Magnesio, MgO, %	1.54	6.00 Máximo
Tróxido de Azufre, SO <sub>2</sub> , %	1.00	4.00 Máximo
Ánfitas por ignición o al fuego, P.F %	2.22	3.00 máximo
<b>REQUERIMIENTOS FISICOS:</b>		
Peso Específico (g/cm <sup>3</sup> )	3.03	No Especifica
expansión en autoclave, %	-0.03	0.20 máximo
Tiempo de Fraguado, Ensayo de Vicat, minutos		
Tiempo de Fraguado (Inicial)	204	45 Mínimo
Tiempo de Fraguado (Final)	269	420 Máximo
contenido de aire en mortero, %	2.22	12.00 máximo
Superficie específica Blaine	4961	No Especifica
Resistencia a la Compresión, MPa, (kgf/cm <sup>2</sup> )		mínimo:
01 día	10.22 (104)	No específica
03 días	20.61 (204)	18.0 (184)
07 días	24.20 (247)	20.0 (204)
28 días	40.03 (396)	25.0 (244)

Este Documento muestra Características Típicas del Promedio Mensual de la Producción del mes de Diciembre, confirmando que este cemento cumple especificaciones de las normas ASTM C 595 y NTP 204.090

Arequipa, 02 de Enero 2017



  
 Gonzalo Álvarez Cárdenas  
 Jefe de Control de Calidad  
 Yura S.A.

Planta Cementos Yura S.A. 20 - Arequipa  
 Oficina Corporativa Av. General Urea Callejón 567 - Arequipa  
 Tel.: (01 84) 410000 / 210000



## ANEXOS D: METODO DE DISEÑO ACI 211.4.

### Anexo D-1: Método de diseño ACI para concreto patrón

	UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA <b>LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES</b>		
<b>REALIZADO POR</b>	: BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE		
<b>ESIS</b>	: "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017"		
<b>LICITACIÓN</b>	: FICA-CIUDAD UNIVERSITARIA		
<b>DISEÑO DE MEZCLAS</b> <b>METODO : ACI211.4 PARA CONCRETO PATRON</b> $f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$			
<b><u>1) RESISTENCIA PROMEDIO REQUERIDO</u></b>			
F'c	350	kgf/cm <sup>2</sup>	
$F'_{cr} = \frac{F'c + 98}{0.9}$			
F'cr	497.78	kgf/cm <sup>2</sup>	
<b><u>2) ASENTAMIENTO:</u></b>			
<b>SLUM RECOMENDADO PARA CAR</b>		<b>SLUM MIN</b>	<b>SLUM MAX</b>
SLUM CON SUPERPLASTIFICANTE		1"	2"
SLUM SIN SUPERPLASTIFICANTE		2"	4"
<b>RESISTENCIA REQUERIDA DEL CONCRETO (KG/CM2)</b>		<b>AÑO MAXIMO DEL AGRE</b>	
RESISTENCIA MENOR A < 630		3/4"	1"
RESISTENCIA MAYOR A > 630		3/8"	1/2"
<b><u>3) VERIFICACION Y SELECCIÓN DEL TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:</u></b>			
TMN	3/4"		in.
<b><u>4) SELECCIÓN DEL CONTENIDO OPTIMO DEL AGREGADO GRUESO:</u></b>			
VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DEL CONCRETO ( PARA AGREGADO FINO CON MODULO DE FINURA ENTRE 2.5 - 3.2)			
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	3/8"	1/2"	3/4"
FRACCION VOLUMETRICA Ps ag.	0.65	0.62	0.72



PESO DEL Agr. GRUESO (VOLUMEN *P.U. VARILLADO COMPACTADO)		1116.72	kgf	
<b>E) ESTIMACION DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE:</b>				
<b>REQUERIMIENTOS APROXIMADOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE VASADO EN EL USO DE UNA ARENA CON 35% DE VACIOS</b>				
SLUMP	AGUA DE MEZCLADO EN Kg/m <sup>3</sup> , PARA			
	3/8"	1/2"	3/4"	1"
1" - 2"	183	174	168	165
2" - 3"	189	183	174	171
3" - 4"	195	189	180	177
<b>AIRE ATRAPADO %</b>				
CON SUPERPLASTIFICANTE	3.00	2.50	2.00	1.50
SIN SUPERPLASTIFICANTE	2.50	2.00	1.50	1.00
<b>CALCULAMOS EL CONTENIDO DE VACIOS DE LA ARENA</b>				
$V\% = \left( 1 - \frac{P.U.C.}{PESO ESPECIFICO} \right) * 100$				
V=	35.94		%	
<b>AJUSTAMOS EL AGUA DE MEZCLADO</b>				
A Kg/m <sup>3</sup> = 4.72 * (V - 35)	A =	4.43	Kgf/m <sup>3</sup>	
CONTENIDO DE AGUA FINAL	184.43		Kgf/m <sup>3</sup>	
AIRE ATRAPADO %	2.00		%	





**F) SELECCIÓN DE LA RELACION AGUA/MATERIALES CEMENTICIOS:**

RELACION AGUA/MATERIALES CEMENTANTES SIN SUPERPLASTIFICANTE				
RESISTENCIA PROMEDIO F'cr kg/cm2	EDAD (DIAS)	RELACION a/mc PARA LOS TAMAÑOS MAXIMOS DE AGREGADOS GRUESOS INDICADOS		
		3/8"	1/2"	3/4"
422	28	0.47	0.46	0.44
492	28	0.42	0.41	0.39
563	28	0.35	0.34	0.33
633	29	0.30	0.29	0.28
703	30	0.26	0.26	0.25

F'cr =	497.78	F'cr^=	448	kgf/cm2
--------	--------	--------	-----	---------

F'cr	a/mc
422	0.44
448	0.42
492	0.39

**NOTA:** LA RESITENCIA PROMEDIO  
REQUERIDA DEBERA SER REAJUSTADA  
PARA USAR LA TABLA CON 0.9 (F'cr^)

**G) CONTENIDO DE MATERIALES CEMENTICIOS:**

CONTENIDO DE AGUA	184.43	Lt/m3
RELACION AGUA / MATERIALES CEMENTICIOS (a/mc)	0.42	
CONTENIDO DE CEMENTO	437.62	Kg.



**H) VOLUMEN ABSOLUTO DE MATERIALES SIN CONTAR EL AGREGADO FINO:**

MATERIAL	PESOS (Kg)	PESO ESPECIFICO	VOLUMEN (m3)	VOLUMEN TOTAL
CEMENTO	437.62	2820	0.155	0.791
AGREGADO GRUESO	1116.72	2590	0.431	
AGUA	184.43	1000	0.184	
AIRE	2.00		0.020	

**I) VOLUMEN DEL AGREGADO FINO Y PESO:**

VOLUMEN DEL AGREGADO FINO (1- VOLUMEN)	0.209	m3
PESO DEL AGREGADO FINO (VOLUMEN*P.E.masa)	535.62	kgf

**J) PRESENTACION DEL DISEÑO EN ESTADO SECO:**

MATERIAL	PESO SECO	PROPORCION
CEMENTO	437.62	1
AGREGADO FINO	535.62	1.22
AGREGADO GRUESO	1116.72	2.55
AGUA	184.43	0.42

**K) DISEÑO FINAL POR CORRECCION POR HUMEDAD:**

MATERIAL	PESO/m3	UNIDAD	PESO/BOLSA	UNIDAD
CEMENTO	437.62	Kg/m3	42.50	Kg/bolsa
AGREGADO FINO	555.70	Kg/m3	53.97	Kg/bolsa
AGREGADO GRUESO	1116.16	Kg/m3	108.40	Kg/bolsa
AGUA EFECTIVA	164.90	L/m3	16.01	L/bolsa
AIRE	2.00	%	2.00	%



**L) DISEÑO FINAL DEL CONCRETO PATRON:**

MATERIALES	DOSIFICACIÓN POR METRO CÚBICO DE CONCRETO				
	PESO SECO (Kg)	VOL. ABSOLUTO (m3)	PESO HUMEDO (Kg/m3)	VOL. ABSOLUTO (m3)	TANDA 0.095 (Kg)
CEMENTO	437.62	0.16	437.62	0.16	41.57
AGREGADI FINO	535.62	0.21	555.70	0.23	52.79
AGREGADO GRUESO	1116.72	0.43	1116.16	0.43	106.04
AGUA EFECTIVA	184.43	0.18	164.90	0.16	15.67
AIRE	2.00	0.02	2.00	0.02	0.2
<b>SUMATORIA</b>	<b>2276.38</b>	1.00	<b>2276.38</b>	1.00	

**Anexo D-2: Método de diseño ACI para concreto con nanosilíce**

**CALCULO DEL MATERIAL CEMENTANTE CON 1% NANOSILÍCE**

CEMENTO	437.62
---------	--------

CONTENIDO DE CEMENTO                      99%    NANOSILICE    1%

CONTENIDO DE NANOSILICE	4.38	kg/m3
CONTENIDO DE CEMENTO	433.24	kg/m3

DESCRIPCION	VOLUM. ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M <sup>3</sup>	HUMEDAD	PESO CORR. KG/M <sup>3</sup>	PROP. PESO
CEMENTO	0.154	433.24		433.24	1.00
NANOSILICE	0.004	4.38		4.38	0.01
AGREGADO FINO	0.207	528.82	3.75	548.65	1.27
AGREGADO GRUESO	0.431	1116.72	-0.05	1116.16	2.58
AGUA	0.184	184.43		165.15	0.38
AIRE	0.020				

Rel A/(C+NS) Efectiva	0.38
-----------------------	------

PARA UNA TANDA DE 18 TESTIGOS		
v = 0.095 m3		
CEMENTO	41.16	kg
NANOSILICE	0.42	kg
AGREGADO FINO	52.12	kg
AGREGADO GRUESO	106.04	kg
AGUA	15.69	LITROS





**CALCULO DEL MATERIAL CEMENTANTE CON 1.5% DE NANOSÍLICE**

CEMENTO	437.62
---------	--------

CONTENIDO DE CEMENTO 98.5% NANOSILICE 1.5%

CONTENIDO DE NANOSILICE	6.56	kg/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE CEMENTO	431.05	kg/m <sup>3</sup>

DESCRIPCION	VOLUM. ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M <sup>3</sup>	HUMEDAD	PESO CORR. KG/M <sup>3</sup>	PROP. PESO
CEMENTO	0.153	431.05		431.05	1.00
NANOSILICE	0.006	6.56		6.56	0.02
AGREGADO FINO	0.205	525.42	3.75	545.12	1.26
AGREGADO GRUESO	0.431	1116.72	-0.05	1116.16	2.59
AGUA	0.184	184.43		165.28	0.38
AIRE	0.020				

Rel A/(C+NS) Efectiva	0.38
-----------------------	------

PARA UNA TANDA DE 18 TESTIGOS		
v = 0.095 m <sup>3</sup>		
CEMENTO	40.95	kg
NANOSILICE	0.62	kg
AGREGADO FINO	51.79	kg
AGREGADO GRUESO	106.04	kg
AGUA	15.70	LITROS

**CALCULO DEL MATERIAL CEMENTANTE CON 2% DE NANOSÍLICE**

CEMENTO	437.62
---------	--------

CONTENIDO DE CEMENTO 98.0% NANOSILICE 2.0%

CONTENIDO DE NANOSILICE	8.75	kg/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE CEMENTO	428.87	kg/m <sup>3</sup>

DESCRIPCION	VOLUM. ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M <sup>3</sup>	HUMEDAD	PESO CORR. KG/M <sup>3</sup>	PROP. PESO
CEMENTO	0.152	428.87		428.87	1.00
NANOSILICE	0.008	8.75		8.75	0.02
AGREGADO FINO	0.204	522.02	3.75	541.59	1.26
AGREGADO GRUESO	0.431	1116.72	-0.05	1116.16	2.60
AGUA	0.184	184.43		165.41	0.39
AIRE	0.020				

Rel A/(C+NS) Efectiva	0.38
-----------------------	------

PARA UNA TANDA DE 18 TESTIGOS		
v = 0.095 m <sup>3</sup>		
CEMENTO	40.74	kg
NANOSILICE	0.83	kg
AGREGADO FINO	51.45	kg
AGREGADO GRUESO	106.04	kg
AGUA	15.71	LITROS



**CALCULO DEL MATERIAL CEMENTANTE CON 2.5% DE NANOSÍLICE**

CEMENTO	437.62
---------	--------

CONTENIDO DE CEMENTO                    97.5%                    NANOSILICE                    2.5%

CONTENIDO DE NANOSILICE	10.94	kg/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE CEMENTO	426.68	kg/m <sup>3</sup>

DESCRIPCION	VOLUM. ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M <sup>3</sup>	HUMEDAD	PESO CORR. KG/M <sup>3</sup>	PROP. PESO
CEMENTO	0.151	426.68		426.68	1.00
NANOSILICE	0.011	10.94		10.94	0.03
AGREGADO FINO	0.203	518.62	3.75	538.07	1.26
AGREGADO GRUESO	0.431	1116.72	-0.05	1116.16	2.62
AGUA	0.184	184.43		165.54	0.39
AIRE	0.020				

Rel A/(C+NS) Efectiva	0.39
-----------------------	------

PARA UNA TANDA DE 18 TESTIGOS		
	<b>v = 0.095 m<sup>3</sup></b>	
CEMENTO	40.53	kg
NANOSILICE	1.04	kg
AGREGADO FINO	51.12	kg
AGREGADO GRUESO	106.04	kg
AGUA	15.73	LITROS

**CALCULO DEL MATERIAL CEMENTANTE CON 3% DE NANOSÍLICE**

CEMENTO	437.62
---------	--------

CONTENIDO DE CEMENTO                    97.0%                    NANOSILICE                    3.0%

CONTENIDO DE NANOSILICE	13.13	kg/m <sup>3</sup>
CONTENIDO DE CEMENTO	424.49	kg/m <sup>3</sup>

DESCRIPCION	VOLUM. ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M <sup>3</sup>	HUMEDAD	PESO CORR. KG/M <sup>3</sup>	PROP. PESO
CEMENTO	0.15	424.49		424.49	1.00
NANOSILICE	0.01	13.13		13.13	0.03
AGREGADO FINO	0.20	515.22	3.75	534.54	1.26
AGREGADO GRUESO	0.43	1116.72	-0.05	1116.16	2.63
AGUA	0.18	184.43		165.66	0.39
AIRE	0.02				

Rel A/(C+NS) Efectiva	0.39
-----------------------	------

PARA UNA TANDA DE 18 TESTIGOS		
	<b>v = 0.095 m<sup>3</sup></b>	
CEMENTO	40.33	kg
NANOSILICE	1.25	kg
AGREGADO FINO	50.78	kg
AGREGADO GRUESO	106.04	kg
AGUA	15.74	LITROS

# ANEXOS E: ANALISIS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

## Anexo E-1: Análisis estadístico



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**

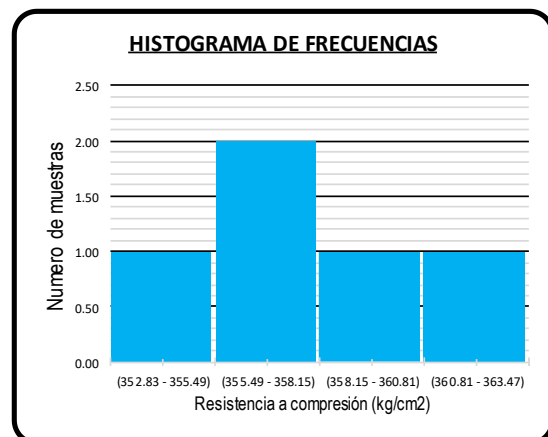
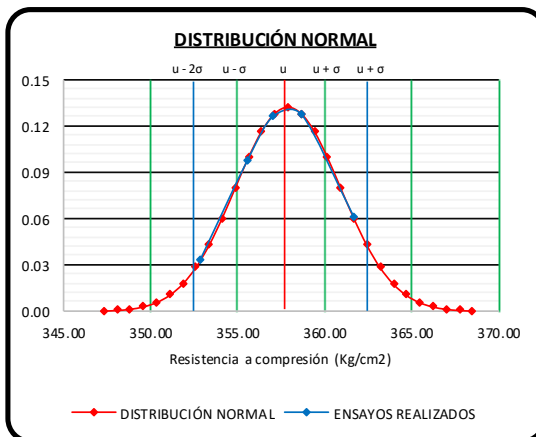


REALIZADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE

TESIS : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

### ANALISIS ESTADISTICO - CONCRETO PATRON (100%C+0%NS)

Diseño		Probeta		Resistencia			
RESISTENCIA A LA COMPRESION (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS		CP - 1	358.68				
		CP - 2	352.83				
		CP - 3	357.02				
		CP - 4	355.56				
		CP - 5	361.65				
Intervalos de	X <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	f <sub>i</sub> .X <sub>i</sub>	(X <sub>i</sub> -u)	(X <sub>i</sub> -u) <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> -u) <sup>2</sup>
[ 352.83 - 355.49 >	354.16	1.00	1.00	354.16	-3.72	13.87	13.87
[ 355.49 - 358.15 >	356.82	2.00	3.00	713.64	-1.06	1.13	2.26
[ 358.15 - 360.81 >	359.48	1.00	4.00	359.48	1.60	2.55	2.55
[ 360.81 - 363.47 >	362.14	1.00	5.00	362.14	4.26	18.11	18.11
		<b>5.00</b>		<b>1789.42</b>			<b>36.79</b>
NUMERO DE MUESTRAS	: n =	5.00	VARIANZA	: σ <sup>2</sup> =	9.20		
RANGO DE DATOS	: R <sub>x</sub> =	8.82	DESVIACION ESTANDAR	: σ =	3.03		
X <sub>max</sub> = 361.65	X <sub>min</sub> = 352.83		COEFICIENTE DE VARIACION	: CV =	0.85		
Nº DE INTERVALOS DE CLASE	: K =	3.31	PERCENTIL : P <sub>10</sub> ≥ 0.70	=	<b>354.16</b>		
ANCHO DE INTERVALOS DE CLAS	: C =	2.66	PERCENTIL : P <sub>25</sub> ≥ 1.75	=	<b>356.16</b>		
MEDIA	: u =	357.88	PERCENTIL : P <sub>75</sub> ≥ 5.25	=	<b>357.49</b>		
MEDIANA	: u <sub>m</sub> =	<b>356.82</b>	PERCENTIL : P <sub>90</sub> ≥ 6.30	=	<b>359.48</b>		
MODA	: u <sub>o</sub> =	<b>355.49</b>					
1er COEFICIENTE DE PEARSON	: (A <sub>s</sub> =0 ; A <sub>s</sub> >0 → Der. ; A <sub>s</sub> <0 → Izq.)			<b>Derecha</b>	<b>0.79</b>		
2do COEFICIENTE DE PEARSON	: (A <sub>s</sub> =0 ; A <sub>s</sub> >0 → Der. ; A <sub>s</sub> <0 → Izq.)			<b>Izquierda</b>	<b>0.00</b>		
COEFICIENTE DE CURTOSIS	: (K<0.263 → Lepto; K=0.263 → Meso; K>0.263 → Plati)			<b>Leptocurtica</b>	<b>0.13</b>		



REALIZADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE

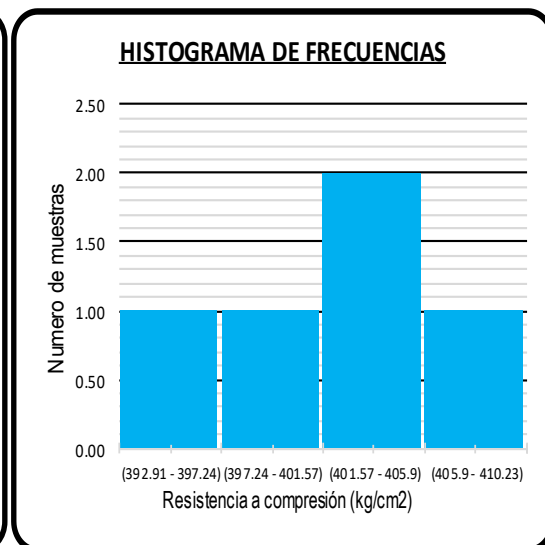
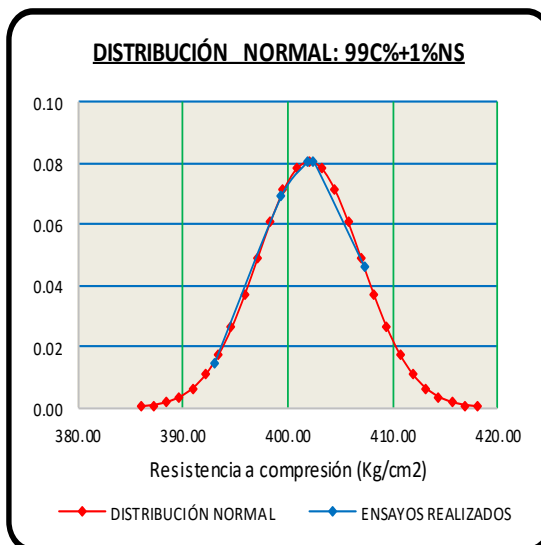
TESIS : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

**ANALISIS ESTADISTICO - CONCRETO CON SUSTITUCION (99%C+1%NS)**

Diseño	Probeta	Resistencia
RESISTENCIA A LA COMPRESION (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS	99.0% <sub>C</sub> +1.0% <sub>NS</sub> - 1	401.88
	99.0% <sub>C</sub> +1.0% <sub>NS</sub> - 2	392.91
	99.0% <sub>C</sub> +1.0% <sub>NS</sub> - 3	402.40
	99.0% <sub>C</sub> +1.0% <sub>NS</sub> - 4	407.23
	99.0% <sub>C</sub> +1.0% <sub>NS</sub> - 5	399.30

Intervalos de	X <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	f <sub>i</sub> X <sub>i</sub>	(X <sub>i</sub> -u)	(X <sub>i</sub> -u) <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> -u) <sup>2</sup>
392.91 - 397.24 >	395.08	1.00	1.00	395.08	-6.93	48.00	48.00
397.24 - 401.57 >	399.41	1.00	2.00	399.41	-2.60	6.75	6.75
401.57 - 405.90 >	403.74	2.00	4.00	807.47	1.73	3.00	6.00
405.90 - 410.23 >	408.07	1.00	5.00	408.07	6.06	36.75	36.75
		<b>5.00</b>		<b>2010.02</b>			<b>97.49</b>

NUMERO DE MUESTRAS : n = 5.00	VARIANZA : $\sigma^2 = 24.37$
RANGO DE DATOS : R <sub>x</sub> = 14.32	DESVIACION ESTANDAR : $\sigma = 4.94$
X <sub>max</sub> = 407.23 X <sub>min</sub> = 392.91	COEFICIENTE DE VARIACION : CV = 1.23
Nº DE INTERVALOS DE CLASE : K = 3.31	PERCENTIL : P <sub>10</sub> ≥ 0.70 = <b>395.08</b>
ANCHO DE INTERVALOS DE CLAS : C = 4.33	PERCENTIL : P <sub>25</sub> ≥ 1.75 = <b>398.32</b>
MEDIA : u = 402.00	PERCENTIL : P <sub>75</sub> ≥ 5.25 = <b>404.82</b>
MEDIANA : u <sub>m</sub> = <b>402.65</b>	PERCENTIL : P <sub>90</sub> ≥ 6.30 = <b>408.07</b>
MODA : u <sub>o</sub> = <b>403.74</b>	
1er COEFICIENTE DE PEARSON : (A <sub>s</sub> =0 ; A <sub>s</sub> >0 → Der. ; A <sub>s</sub> <0 → Izq.)	Izquierda <b>-0.35</b>
2do COEFICIENTE DE PEARSON : (A <sub>s</sub> =0 ; A <sub>s</sub> >0 → Der. ; A <sub>s</sub> <0 → Izq.)	Izquierda <b>-0.33</b>
COEFICIENTE DE CURTOSIS : (K<0.263 → Lepto; K=0.263 → Meso; K>0.263 → Plati)	Leptocurtica <b>0.25</b>



REALIZADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE

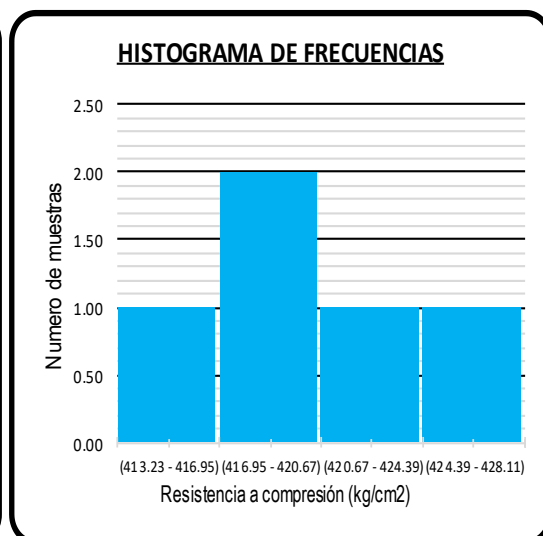
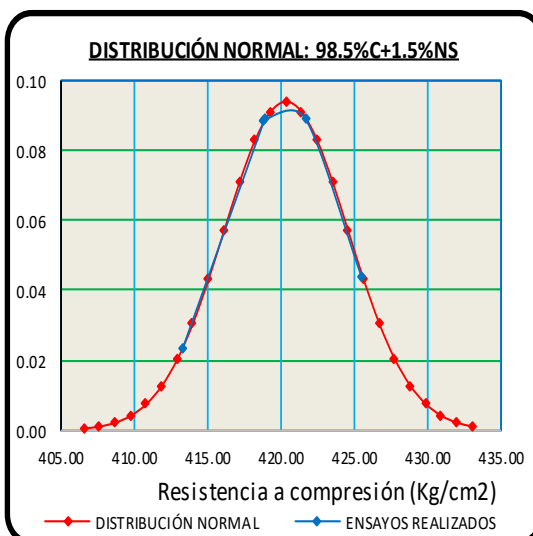
TESIS : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO - CONCRETO CON SUSTITUCION (98.5%C+1.5%NS)**

Diseño	Probeta	Resistencia
RESISTENCIA A LA COMPRESION ( $f'_c$ ) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS	98.5% <sub>C</sub> +1.5% <sub>NS</sub> - 1	425.53
	98.5% <sub>C</sub> +1.5% <sub>NS</sub> - 2	413.23
	98.5% <sub>C</sub> +1.5% <sub>NS</sub> - 3	421.67
	98.5% <sub>C</sub> +1.5% <sub>NS</sub> - 4	418.80
	98.5% <sub>C</sub> +1.5% <sub>NS</sub> - 5	418.91

Intervalos de	$X_i$	$f_i$	$F_i$	$f_i \cdot X_i$	$(X_i - u)$	$(X_i - u)^2$	$f_i(X_i - u)^2$
[ 413.23 - 416.95 >	415.09	1.00	1.00	415.09	-5.21	27.12	27.12
[ 416.95 - 420.67 >	418.81	2.00	3.00	837.62	-1.49	2.21	4.43
[ 420.67 - 424.39 >	422.53	1.00	4.00	422.53	2.23	4.98	4.98
[ 424.39 - 428.11 >	426.25	1.00	5.00	426.25	5.95	35.43	35.43
		<b>5.00</b>		<b>2101.49</b>			<b>71.96</b>

NUMERO DE MUESTRAS : n = 5.00	VARIANZA : $\sigma^2 = 17.99$
RANGO DE DATOS : $R_x = 12.30$	DESVIACION ESTANDAR : $\sigma = 4.24$
$X_{max} = 425.53$ $X_{min} = 413.23$	COEFICIENTE DE VARIACION : CV = 1.01
Nº DE INTERVALOS DE CLASE : K = 3.31	PERCENTIL : $P_{10} \geq 0.70 = 415.09$
ANCHO DE INTERVALOS DE CLAS: C = 3.72	PERCENTIL : $P_{25} \geq 1.75 = 417.42$
MEDIA : u = 420.30	PERCENTIL : $P_{75} \geq 5.25 = 423.46$
MEDIANA : $u_m = 418.81$	PERCENTIL : $P_{90} \geq 6.30 = 426.25$
MODA : $u_o = 418.81$	
1er COEFICIENTE DE PEARSON : ( $A_s=0$ ; $A_s>0 \rightarrow$ Der. ; $A_s<0 \rightarrow$ lzq.)	Derecha 0.35
2do COEFICIENTE DE PEARSON : ( $A_s=0$ ; $A_s>0 \rightarrow$ Der. ; $A_s<0 \rightarrow$ lzq.)	Derecha 0.54
COEFICIENTE DE CURTOSIS : ( $K<0.263 \rightarrow$ Lepto; $K=0.263 \rightarrow$ Meso; $K>0.263 \rightarrow$ Plati)	Plasticurtica 0.27





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



REALIZADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE

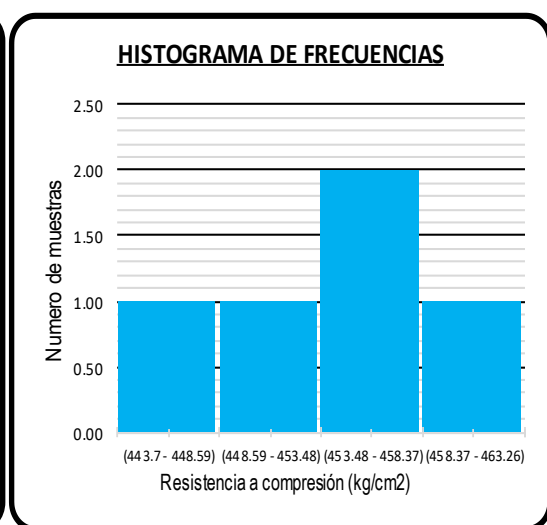
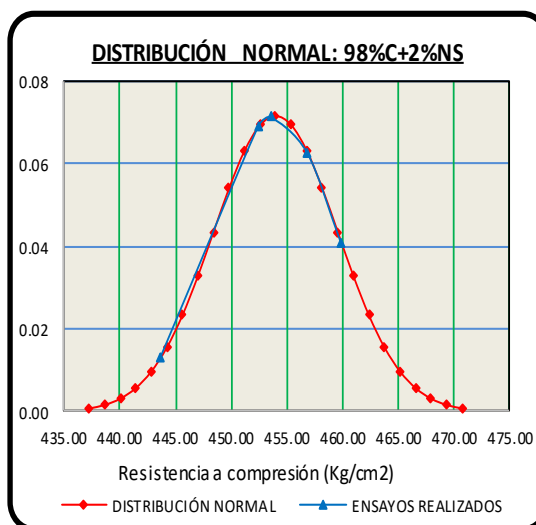
TESIS : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

ANALISIS ESTADISTICO - CONCRETO CON SUSTITUCION (98%C+2%NS)

Diseño	Probeta	Resistencia
RESISTENCIA A LA COMPRESION (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS	98.0% <sub>C</sub> +2.0% <sub>NS</sub> - 1	452.45
	98.0% <sub>C</sub> +2.0% <sub>NS</sub> - 2	456.85
	98.0% <sub>C</sub> +2.0% <sub>NS</sub> - 3	453.52
	98.0% <sub>C</sub> +2.0% <sub>NS</sub> - 4	459.88
	98.0% <sub>C</sub> +2.0% <sub>NS</sub> - 5	443.70

Intervalos de	X <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	f <sub>i</sub> .X <sub>i</sub>	(X <sub>i</sub> -u)	(X <sub>i</sub> -u) <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> -u) <sup>2</sup>
[ 443.70 - 448.59 >	446.15	1.00	1.00	446.15	-7.82	61.21	61.21
[ 448.59 - 453.48 >	451.04	1.00	2.00	451.04	-2.93	8.61	8.61
[ 453.48 - 458.37 >	455.93	2.00	4.00	911.85	1.96	3.83	7.65
[ 458.37 - 463.26 >	460.82	1.00	5.00	460.82	6.85	46.87	46.87
		<b>5.00</b>		<b>2269.85</b>			<b>124.34</b>

NUMERO DE MUESTRAS : n = 5.00	VARIANZA : σ <sup>2</sup> = 31.09
RANGO DE DATOS : R <sub>x</sub> = 16.18	DESVIACION ESTANDAR : σ = 5.58
X <sub>max</sub> = 459.88 X <sub>min</sub> = 443.70	COEFICIENTE DE VARIACION : CV = 1.23
Nº DE INTERVALOS DE CLASE : K = 3.31	PERCENTIL : P <sub>10</sub> ≥ 0.70 = 447.12
ANCHO DE INTERVALOS DE CLAS : C = 4.89	PERCENTIL : P <sub>25</sub> ≥ 1.75 = 449.81
MEDIA : u = 453.97	PERCENTIL : P <sub>75</sub> ≥ 5.25 = 457.15
MEDIANA : u <sub>m</sub> = 454.70	PERCENTIL : P <sub>90</sub> ≥ 6.30 = 460.82
MODA : u <sub>o</sub> = 455.93	
1er COEFICIENTE DE PEARSON : (A <sub>s</sub> =0 ; A <sub>k</sub> >0 → Der. ; A <sub>s</sub> <0 → Izq.)	Izquierda -0.35
2do COEFICIENTE DE PEARSON : (A <sub>s</sub> =0 ; A <sub>k</sub> >0 → Der. ; A <sub>s</sub> <0 → Izq.)	Izquierda -0.33
COEFICIENTE DE CURTOSIS : (K<0.263 → Lepto; K=0.263 → Meso; K>0.263 → Plati)	Plasticurtica 0.27





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



REALIZADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE

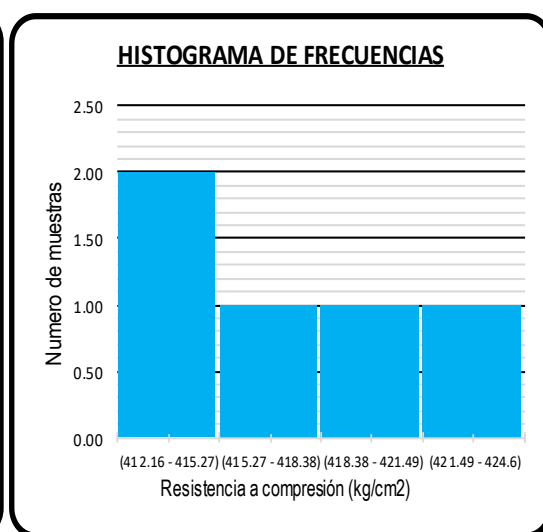
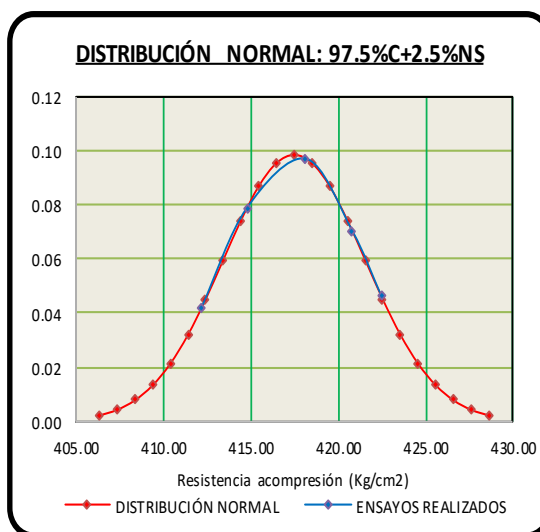
TESIS : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

ANALISIS ESTADISTICO - CONCRETO CON SUSTITUCION (97.5%C+2.5%NS)

Diseño	Probeta	Resistencia
RESISTENCIA A LA COMPRESION ( $f'_c$ ) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS	97.5% <sub>C</sub> +2.5% <sub>NS</sub> - 1	422.44
	97.5% <sub>C</sub> +2.5% <sub>NS</sub> - 2	414.74
	97.5% <sub>C</sub> +2.5% <sub>NS</sub> - 3	412.16
	97.5% <sub>C</sub> +2.5% <sub>NS</sub> - 4	420.77
	97.5% <sub>C</sub> +2.5% <sub>NS</sub> - 5	418.11

Intervalos de	$X_i$	$f_i$	$F_i$	$f_i \cdot X_i$	$(X_i - u)$	$(X_i - u)^2$	$f_i(X_i - u)^2$
[ 412.16 - 415.27 >	413.72	2.00	2.00	827.43	-3.73	13.93	27.86
[ 415.27 - 418.38 >	416.83	1.00	3.00	416.83	-0.62	0.39	0.39
[ 418.38 - 421.49 >	419.94	1.00	4.00	419.94	2.49	6.19	6.19
[ 421.49 - 424.60 >	423.05	1.00	5.00	423.05	5.60	31.34	31.34
		<b>5.00</b>		<b>2087.24</b>			<b>65.77</b>

NUMERO DE MUESTRAS : n =	5.00	VARIANZA : $\sigma^2 =$	16.44
RANGO DE DATOS : $R_x =$	10.28	DESVIACION ESTANDAR : $\sigma =$	4.05
$X_{max} = 422.44$ $X_{min} = 412.16$		COEFICIENTE DE VARIACION : CV =	0.97
Nº DE INTERVALOS DE CLASE : K =	3.31	PERCENTIL : $P_{10} \geq 0.70$	= <b>413.25</b>
ANCHO DE INTERVALOS DE CLASE: C =	3.11	PERCENTIL : $P_{25} \geq 1.75$	= <b>412.94</b>
MEDIA : u =	417.45	PERCENTIL : $P_{75} \geq 5.25$	= <b>420.71</b>
MEDIANA : $u_m =$	<b>416.83</b>	PERCENTIL : $P_{90} \geq 6.30$	= <b>423.05</b>
MODA : $u_o =$	<b>414.23</b>		
1er COEFICIENTE DE PEARSON : ( $A_s=0$ ; $A_s>0 \rightarrow$ Der. ; $A_s<0 \rightarrow$  zq.)		Derecha	<b>0.79</b>
2do COEFICIENTE DE PEARSON : ( $A_s=0$ ; $A_s>0 \rightarrow$ Der. ; $A_s<0 \rightarrow$  zq.)		Derecha	<b>0.00</b>
COEFICIENTE DE CURTOSIS : ( $K<0.263 \rightarrow$ Lepto; $K=0.263 \rightarrow$ Meso; $K>0.263 \rightarrow$ Plati)		Plasticurtica	<b>0.40</b>





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIALES**



REALIZADO POR : BACH. HELAR MENDOZA ALMONTE

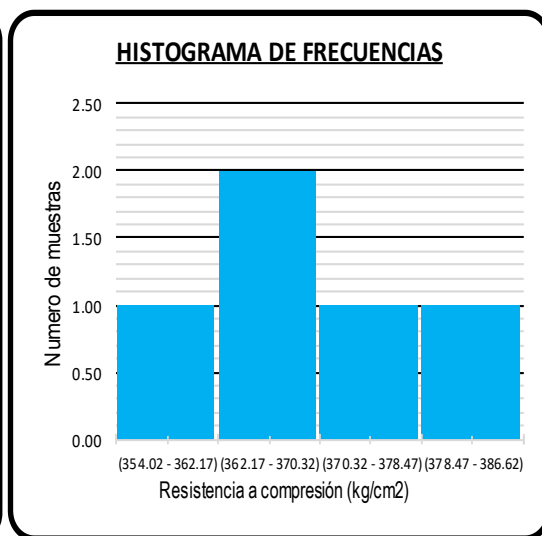
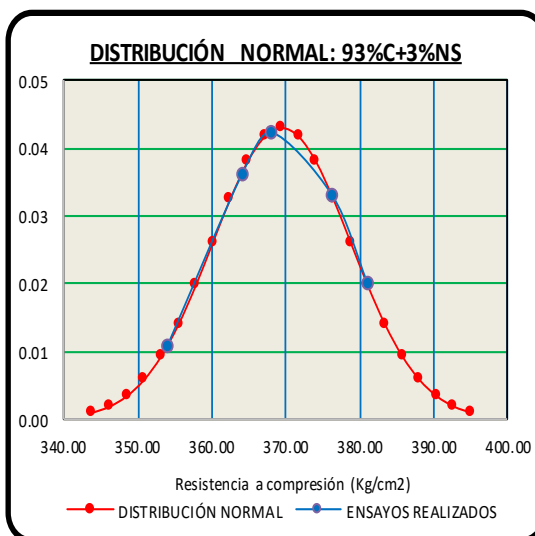
TESIS : "INFLUENCIA DEL NANOSILICE POR SUSTITUCION PARCIAL AL CEMENTO EN EL DISEÑO DE MEZCLAS DEL CONCRETO DE ALTA RESISTENCIA, EN LA CIUDAD DE PUNO 2017".

ANALISIS ESTADISTICO - CONCRETO CON SUSTITUCION (97%C+3%NS)

Diseño	Probeta	Resistencia
RESISTENCIA A LA COMPRESION (f'c) OBTENIDAS A LOS 28 DIAS	97.0% <sub>C</sub> +3.0% <sub>NS</sub> - 1	381.00
	97.0% <sub>C</sub> +3.0% <sub>NS</sub> - 2	376.23
	97.0% <sub>C</sub> +3.0% <sub>NS</sub> - 3	354.02
	97.0% <sub>C</sub> +3.0% <sub>NS</sub> - 4	364.03
	97.0% <sub>C</sub> +3.0% <sub>NS</sub> - 5	368.02

Intervalos de	X <sub>i</sub>	f <sub>i</sub>	F <sub>i</sub>	f <sub>i</sub> ·X <sub>i</sub>	(X <sub>i</sub> -u)	(X <sub>i</sub> -u) <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> (X <sub>i</sub> -u) <sup>2</sup>
[ 354.02 - 362.17 >	358.10	1.00	1.00	358.10	-11.41	130.19	130.19
[ 362.17 - 370.32 >	366.25	2.00	3.00	732.49	-3.26	10.63	21.26
[ 370.32 - 378.47 >	374.40	1.00	4.00	374.40	4.89	23.91	23.91
[ 378.47 - 386.62 >	382.55	1.00	5.00	382.55	13.04	170.04	170.04
		<b>5.00</b>		<b>1847.53</b>			<b>345.40</b>

NUMERO DE MUESTRAS	: n =	5.00	VARIANZA	: σ <sup>2</sup> =	86.35
RANGO DE DATOS	: R <sub>x</sub> =	26.98	DESVIACION ESTANDAR	: σ =	9.29
X <sub>max</sub> = 381.00	X <sub>min</sub> = 354.02		COEFICIENTE DE VARIACION	: CV =	2.51
Nº DE INTERVALOS DE CLASE	: K =	3.31	PERCENTIL : P <sub>10</sub> ≥ 0.70	=	<b>359.73</b>
ANCHO DE INTERVALOS DE CLASE	: C =	8.15	PERCENTIL : P <sub>25</sub> ≥ 1.75	=	<b>363.19</b>
MEDIA	: u =	369.51	PERCENTIL : P <sub>75</sub> ≥ 5.25	=	<b>376.43</b>
MEDIANA	: u <sub>m</sub> =	<b>366.25</b>	PERCENTIL : P <sub>90</sub> ≥ 6.30	=	<b>382.55</b>
MODA	: u <sub>o</sub> =	<b>362.17</b>			
1er COEFICIENTE DE PEARSON	: (A <sub>s</sub> =0 ; A <sub>s</sub> >0 → Der. ; A <sub>s</sub> <0 → Izq.)		Derecha		<b>0.79</b>
2do COEFICIENTE DE PEARSON	: (A <sub>s</sub> =0 ; A <sub>s</sub> >0 → Der. ; A <sub>s</sub> <0 → Izq.)		Derecha		<b>0.54</b>
COEFICIENTE DE CURTOSIS	: (K<0.263 → Lepto; K=0.263 → Meso; K>0.263 → Plati)		Plasticurtica		<b>0.29</b>





## ANEXOS F: TABLAS ESTADÍSTICAS

### Anexo F-1: Tablas de distribución “t” de student

354

CIRO MARTÍNEZ BENCARDINO  
ESTADÍSTICA Y MUESTREO

Tabla 8.3 Tabla de distribución “t” de Student

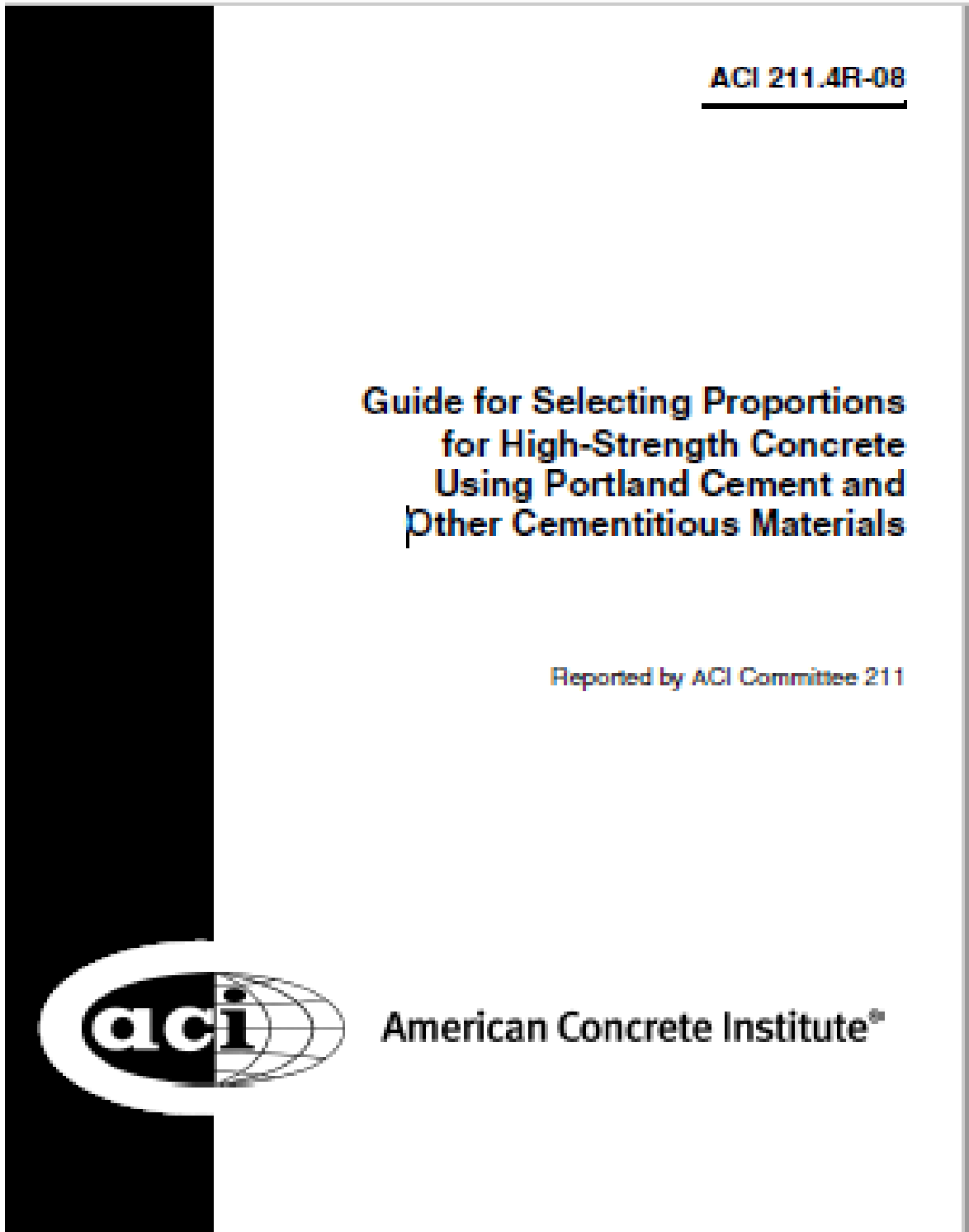
NIVEL DE SIGNIFICACIÓN PARA PRUEBAS DE UNA COLA						
Grados de libertad $\nu$	0,10	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
	Nivel de significación para pruebas de dos colas					
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	636,619
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	31,598
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,941
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,859
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,405
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041
9	1,383	1,833	2,262	2,821	3,250	4,781
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,318
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073
16	1,337	1,746	2,120	2,583	2,921	4,015
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460
120	1,289	1,658	1,980	2,358	2,617	3,373
$\infty$	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291

Fuente: Esta tabla es un resumen de la Tabla III de Fisher y Yates: *Statistical Tables for Biological, Agricultural, and Medical Research*, obra publicada por Oliver & Boyd Ltd., Edimburgo.



## ANEXO G: NORMAS Y REPORTES

Anexo G-1: Guide for selecting proportions for high-strength concrete using portland cement and other cementitious materials (ACI 211.4R-08).





American Concrete Institute®  
Advancing concrete knowledge

First Printing  
December 2008

### Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials

Copyright by the American Concrete Institute, Farmington Hills, MI. All rights reserved. This material may not be reproduced or copied, in whole or part, in any printed, mechanical, electronic, film, or other distribution and storage media, without the written consent of ACI.

The technical committees responsible for ACI committee reports and standards strive to avoid ambiguities, omissions, and errors in these documents. In spite of these efforts, the users of ACI documents occasionally find information or requirements that may be subject to more than one interpretation or may be incomplete or incorrect. Users who have suggestions for the improvement of ACI documents are requested to contact ACI. Proper use of this document includes periodically checking for errata at [www.concrete.org/committees/errata.asp](http://www.concrete.org/committees/errata.asp) for the most up-to-date revisions.

ACI committee documents are intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains. Individuals who use this publication in any way assume all risk and accept total responsibility for the application and use of this information.

All information in this publication is provided "as is" without warranty of any kind, either express or implied, including but not limited to, the implied warranties of merchantability, fitness for a particular purpose or non-infringement.

ACI and its members disclaim liability for damages of any kind, including any special, indirect, incidental, or consequential damages, including without limitation, lost revenues or lost profits, which may result from the use of this publication.

It is the responsibility of the user of this document to establish health and safety practices appropriate to the specific circumstances involved with its use. ACI does not make any representations with regard to health and safety issues and the use of this document. The user must determine the applicability of all regulatory limitations before applying the document and must comply with all applicable laws and regulations, including but not limited to, United States Occupational Safety and Health Administration (OSHA) health and safety standards.

**Order information:** ACI documents are available in print, by download, on CD-ROM, through electronic subscription, or reprint and may be obtained by contacting ACI.

Most ACI standards and committee reports are gathered together in the annually revised *ACI Manual of Concrete Practice* (MCP).

American Concrete Institute  
38800 Country Club Drive  
Farmington Hills, MI 48331  
U.S.A.  
Phone: 248-848-3700  
Fax: 248-848-3701

[www.concrete.org](http://www.concrete.org)

ISBN 978-0-87031-314-1



# Guide for Selecting Proportions for High-Strength Concrete Using Portland Cement and Other Cementitious Materials

Reported by ACI Committee 211

Frank A. Konefiski  
Chair

Hil T. McGuire  
Secretary

William L. Barringer\*  
Mohammed P. A. Bashear  
Cezimir Bogucki  
Michael J. Boyle\*  
Marshall L. Brown  
Ramon L. Caenaquillo  
James H. Cook\*  
John F. Cook  
Raymond A. Cook  
David A. Crocker  
D. Gene Daniel\*  
François de Larrard

Donald E. Dason  
Calvin L. Doll  
Darrell F. Elliot\*  
Timothy S. Folka  
C. Tony Harris, Sr.  
Richard D. Hill  
David L. Hollingsworth  
Said Irwani  
Tarif M. Jaber†  
Robert S. Jenkins  
Gary Knight  
Colin L. Lobo

Alynn C. Lake\*  
Howard P. Lax  
Gary R. Mass  
Warren E. McPherson, Jr.  
Jon I. Mallarky  
H. Celik Ozyildirim  
Dipak T. Parekh  
James S. Pierce  
James Don Powell  
Steven A. Ragan  
Royce J. Rhoads  
John P. Riss

G. Michael Robinson  
Anton Karel Schindler  
James M. Shilstone, Sr.  
Ava Stypula\*  
Jeffrey H. Speck  
William X. Sypher  
Stanley J. Virgalitis  
Woodward L. Vogt  
James A. Wernick  
Michael A. Whisenant  
Dean J. White, II  
Richard M. Wing

\*Subcommittee members who prepared this report.

†Subcommittee Chair.

The committee would like to recognize Tony Kojandic, Robert Lewis, and Michael Gardner for their significant contributions to this report.

*This guide presents general methods for selecting mixture proportions for high-strength concrete and optimizing these mixture proportions on the basis of trial batches. The methods are limited to high-strength concrete containing portland cement and fly ash, silica fume, or slag cement (formerly referenced as ground-granulated blast-furnace slag) and produced using conventional materials and production techniques.*

*Recommendations and tables are based on current practice and information provided by contractors, concrete suppliers, and engineers who have been involved in projects dealing with high-strength concrete.*

**Keywords:** aggregate; fly ash; high-range water-reducing admixture; high-strength concrete; mixture proportion; quality control.

ACI Committee Reports, Guides, Manuals, Standard Practices, and Commentaries are intended for guidance in planning, designing, executing, and inspecting construction. This document is intended for the use of individuals who are competent to evaluate the significance and limitations of its content and recommendations and who will accept responsibility for the application of the material it contains. The American Concrete Institute disclaims any and all responsibility for the stated principles. The Institute shall not be liable for any loss or damage arising therefrom.

Reference to this document shall not be made in contract documents. If items found in this document are desired by the Architect/Engineer to be a part of the contract documents, they shall be restated in mandatory language for incorporation by the Architect/Engineer.

## CONTENTS

### Chapter 1—Introduction and scope, p. 211.4R-2

- 1.1—Introduction
- 1.2—Scope

### Chapter 2—Notation and definitions, p. 211.4R-2

- 2.1—Notation
- 2.2—Definitions

### Chapter 3—Performance requirements, p. 211.4R-2

- 3.1—Test age
- 3.2—Required average compressive strength  $f_{cr}$
- 3.3—Other requirements

### Chapter 4—Concrete materials, p. 211.4R-3

- 4.1—Introduction
- 4.2—Portland cement
- 4.3—Fly ash

ACI 211.4R-08 supersedes ACI 211.4R-93 and was adopted and published December 2008.

Copyright © 2008, American Concrete Institute.

All rights reserved including rights of reproduction and use in any form or by any means, including the making of copies by any photo process, or by electronic or mechanical device, printed, written, or oral, or recording for sound or visual reproduction or for use in any knowledge or retrieval system or device, unless permission in writing is obtained from the copyright proprietor.



- 4.4—Silica fume
- 4.5—Slag cement
- 4.6—Combinations of other cementitious materials
- 4.7—Mixing water
- 4.8—Coarse aggregate
- 4.9—Fine aggregate
- 4.10—Chemical admixtures

**Chapter 5—High-strength concrete mixture properties, p. 211.4R-6**

- 5.1—Introduction
- 5.2—Water-cementitious material ratio
- 5.3—Workability

**Chapter 6—High-strength concrete mixture proportioning using fly ash, p. 211.4R-7**

- 6.1—Fundamental relationship
- 6.2—Concrete mixture proportioning
- 6.3—Sample calculations

**Chapter 7—High-strength concrete mixture proportioning using silica fume, p. 211.4R-14**

- 7.1—Fundamental relationships
- 7.2—Concrete mixture proportioning
- 7.3—Sample calculations

**Chapter 8—High-strength concrete mixture proportioning using slag cement, p. 211.4R-19**

- 8.1—Fundamental relationships
- 8.2—Concrete mixture proportioning
- 8.3—Sample calculations

**Chapter 9—References, p. 211.4R-24**

- 9.1—Referenced standards and reports
- 9.2—Cited references

**CHAPTER 1—INTRODUCTION AND SCOPE**

**1.1—Introduction**

ACI 211.1 describes methods for selecting proportions for normal-strength concrete in the range of 2000 to 6000 psi. This guide supplements ACI 211.1 by presenting several methods for selecting mixture proportions for high-strength concrete and for optimizing these proportions on the basis of trial batches. Usually, for high-strength concrete mixtures specially selected cementitious materials and chemical admixtures are used, and achieving a low water-cementitious material ratio ( $w/cm$ ) is considered essential. Many trial mixtures are often required to generate the data necessary to identify optimum mixture proportions.

**1.2—Scope**

Discussion in this guide is limited to high-strength concrete produced using conventional materials and production methods.

While high-strength concrete is defined in ACI 363.2R as concrete that has a specified compressive strength  $f'_c$  of 8000 psi or greater, this guide provides methods for selecting mixture proportions for  $f'_c$  greater than 6000 psi. The following recommendations are based on accepted ACI 211.1 methods, current practice, and information from contractors, concrete

suppliers, and engineers who have been involved in projects dealing with high-strength concrete. The reader may refer to ACI 363R for a more complete list of publications and references available on this topic.

**CHAPTER 2—NOTATION AND DEFINITIONS**

ACI provides a comprehensive list of acceptable notation and definitions through an online resource, "ACI Concrete Terminology" (American Concrete Institute 2008).

**2.1—Notation**

- $f'_c$  = compressive strength
- $f'_{cr}$  = required average compressive strength

**2.2—Definitions**

**cement, slag**—granulated blast-furnace slag that has been finely ground and that is hydraulic cement. Note: before March 1, 2003, defined as: "hydraulic cement consisting mostly of an intimate and uniform blend of granulated blast-furnace slag and portland cement, hydrated lime, or both, in which the slag constituent is at least 70% by mass of the finished product."

**fly ash**—the finely divided residue that results from the combustion of ground or powdered coal and that is transported by flue gases from the combustion zone to the particle removal system.

**materials, cementitious**—cements and pozzolans used in concrete and masonry construction.

**pozzolan**—a siliceous or siliceous and aluminous material that in itself possesses little or no cementitious value but that will, in finely divided form and in the presence of moisture, chemically react with calcium hydroxide at ordinary temperatures to form compounds having cementitious properties; there are both natural and artificial pozzolans.

**silica fume**—very fine noncrystalline silica produced in electric arc furnaces as a by-product of the production of elemental silicon or alloys containing silicon.

**strength**—the ability of a material to resist strain or rupture induced by external forces.

*The following terms are defined herein for the purpose of clarification and used throughout this report:*

**binary mixtures**—concrete mixtures that contain two supplementary cementitious materials.

**high strength**—specified compressive strength  $f'_c$  greater than 6000 psi.

**normal strength**—specified compressive strength  $f'_c$  equal to or less than 6000 psi.

**quad blends**—concrete mixtures that contain four supplementary cementitious materials.

**slag index**—percent of compressive strength increase resulting from the slag cement dosage relative to the 28-day compressive strength of the same mixture without slag cement.

**ternary mixtures**—concrete mixtures that contain more than three supplementary cementitious materials.

**CHAPTER 3—PERFORMANCE REQUIREMENTS**

**3.1—Test age**

The selection of mixture proportions can be influenced by the age at which the strength level is required. Because most

high-strength concrete mixtures use fly ash, silica fume, slag cement, or other cementitious materials, high-strength concrete can gain considerable strength after the normally specified 28-day age. To take advantage of this characteristic, many specifications for the compressive strength of high-strength concrete have been modified from the typical 28-day criterion to 56 days, 90 days, or later ages.

### 3.2—Required average compressive strength $f'_{cr}$

ACI 318 allows concrete mixtures to be proportioned based on field experience or laboratory trial batches. To meet the specified compressive strength requirement,  $f'_c$ , the concrete should be designed to achieve the required average compressive strength  $f'_{cr}$ . To do so, the concrete mixture is proportioned in such a manner that the average compressive strength results of field tests exceed  $f'_c$  by an amount high enough to reduce the number of low test results.

**3.2.1 Proportioning based on field experience**—When the concrete producer chooses to select high-strength concrete mixture proportions based on field experience, the required average compressive strength  $f'_{cr}$ , used as the basis for the selection of concrete proportions, should be the larger of the values calculated from the following two equations

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s \quad (3-1)$$

$$f'_{cr} = 0.90f'_c + 2.33s \quad (3-2)$$

where  $s$  is a sample standard deviation from 30 tests.

Equation (3-1) is Eq. (5-1) of ACI 318. Equation (3-2) is Eq. (5-3) of ACI 318. Equation (3-1) is based on the probability of 1-in-100 that the average of three consecutive tests may be below  $f'_c$ . Equation (3-2) is based on the same probability that an individual test may be less than  $0.90f'_c$ . These equations use the population standard deviation, appropriate for an infinite or very large number of tests. At least 30 tests are preferred to estimate the population standard deviation. Refer to ACI 214R when fewer tests are available.

**3.2.2 Proportioning based on trial batches**—When the concrete producer selects high-strength concrete proportions on the basis of laboratory trial batches,  $f'_{cr}$  may be determined from

$$f'_{cr} = 1.10f'_c + 700 \text{ psi} \quad (3-3)$$

Where the average strength documentation is based on laboratory trial mixtures, it may be appropriate to increase  $f'_{cr}$  from Eq. (3-3) in accordance with ACI 214R to allow for a reduction in strength from laboratory trials to actual concrete production.

To assume that the average strength of field-produced concrete will equal the strength of a laboratory-batched concrete is contrary to experience because many factors controlled in the laboratory can influence the strength and variability measurements in the field. Initial use of a high-strength concrete mixture in the field may require some adjustments in proportions for air content and yield and for

the requirements listed in Section 3.3, as appropriate. Once sufficient data have been generated from the job, mixture proportions can be reevaluated using ACI 214R and adjusted accordingly.

### 3.3—Other requirements

Considerations of properties other than compressive strength may influence the selection of materials and mixture proportions, including creep, drying shrinkage, resistance to freezing and thawing, electrical conductivity, finishability, heat of hydration, method of placement, modulus of elasticity, peak temperature differential, permeability, pumpability, tensile strength, time of setting, and workability. More than one requirement may apply to a concrete mixture. In this event, the best acceptable overall solution to proportioning the concrete mixture becomes the goal.

In many cases, the attainment of specific properties can be correlated to strength, and thereafter a strength requirement may become the acceptance criterion for the other properties. For example, if a project specification requires a specific value for modulus of elasticity, and a significant number of compressive strength results are found to correlate strongly with elastic modulus results for a specific concrete mixture, then the compressive strength results could be used as the acceptance criterion.

## CHAPTER 4—CONCRETE MATERIALS

### 4.1—Introduction

Carefully selecting, controlling, and proportioning all of the ingredients will achieve effective production of high-strength concrete. To achieve higher-strength concrete, optimum proportions should be selected, considering the cement and other cementitious material characteristics, aggregate quality, aggregate gradation, paste volume, aggregate-paste interaction, admixture type and dosage rate, and mixing. Evaluating cement and other cementitious materials, chemical admixtures, and aggregates from various potential sources in varying proportions will indicate the optimum combination of materials. Variations in the chemical composition and physical properties of any of these materials will affect the concrete compressive strength. The supplier of high-strength concrete should implement a program to ensure uniformity and acceptance tests for all materials used in the production of high-strength concrete.

### 4.2—Portland cement

Proper selection of the type and source of cement is one of the most important steps in the production of high-strength concrete. For more information, refer to ACI 363R and ACI Compilation 17, *High-Strength Concrete*, on high-strength concrete. For any given set of materials, there is an optimum cement content beyond which little or no additional increase in strength is achieved from increasing the cement content.

### 4.3—Fly ash

For use in concrete, ASTM C618 specifies the requirements for Class F and Class C fly ashes and Class N for raw or calcined natural pozzolans. Fly ash, a by-product of coal combustion, is widely used as a cementitious and pozzolanic



ingredient in concrete. According to "ACI Concrete Terminology," fly ash is "the finely divided residue that results from the combustion of ground or powdered coal and that is transported by flue gases from the combustion zone to the particle removal systems" (American Concrete Institute 2008). The terminology guide defines pozzolans as "a siliceous or siliceous and aluminous material that in itself possess little or no cementitious value but will, in finely divided form and in the presence of moisture, chemically react with calcium hydroxide at ordinary temperatures to form compounds having cementitious properties." All fly ashes contain pozzolanic materials; however, some ashes exhibit varying degrees of cementitious properties in the absence of calcium hydroxide or portland cement because they contain some lime. For more information on fly ash in concrete, refer to ACI 232.2R.

Fly ash in concrete makes efficient use of the hydration products of portland cement by consuming calcium hydroxide to produce additional cementing compounds. When concrete containing fly ash is properly cured, fly-ash reaction products partially fill in the spaces originally occupied by mixing water that were not filled by the hydration products of the cement, thus lowering the concrete permeability to water and aggressive chemicals (Manmohan and Mehta 1981; ACI 232.2R).

Initially, fly ash was used as a partial mass or volume replacement of portland cement for economical reasons. As fly ash usage increased, researchers recognized the potential for improved properties of concrete containing fly ash. Because fly ash reacts with the alkali hydroxides in portland cement paste, it reduces alkali-aggregate reactions. In addition, fly ash may increase resistance to deterioration when exposed to sulfates, improve workability, reduce permeability, and reduce peak temperatures in mass concrete.

Due to their generally spherical shape, fly ash particles normally permit a reduction in water content for a given workability and improve pumpability and finishability. Bleeding may be reduced due to increased paste volume, lower water content for a given workability, and greater solid particle surface area. Other mechanisms by which fly ash reduces water can be referenced in ACI 232.2R.

On an equal mass replacement basis of portland cement with fly ash, early compressive strengths (less than 7 days) may be lower, particularly when using a Class F fly ash. If equivalent early strengths are required, the mixture proportions may need to be modified. Methods by which early-strength equivalency can be achieved include reducing the  $w/cm$ , adjusting the cementitious materials content, adjusting the chemical admixture dosage, modifying the fly ash content, the addition of silica fume, or a combination of all of the above. The 56- and 90-day strengths of fly ash concrete generally surpass mixtures of only portland cement. The ability of fly ash to aid in achieving high ultimate strengths has made it a very useful ingredient in the production of high-strength concrete (Kosmatka et al. 2002). After the rate of strength contribution of portland cement slows, the continued pozzolanic reactivity of fly ash contributes to increased strength gain at later ages if the concrete is kept

moist; therefore, concrete containing fly ash at an equivalent or lower strength at early ages may have an equivalent or higher strength at later ages than concrete without fly ash. This strength gain will continue with time and result in higher later-age strengths than can be achieved by using additional cement (Berry and Malhotra 1980; ACI 232.2R).

#### 4.4—Silica fume

Silica fume is a by-product resulting from the reduction of high-purity quartz with coal or coke and wood chips in an electric arc furnace during the production of silicon metal or ferrosilicon alloys. The silica fume, which condenses from the gases escaping from the furnaces, has a very high content of amorphous silicon dioxide, and consists of very fine spherical particles.

Ferrosilicon alloys are produced with nominal silicon contents of 61 to 98%. When the silicon content reaches 98%, the product is called elemental silicon rather than ferrosilicon. As the silicon content increases in the alloy, the  $SiO_2$  content will increase in the silica fume. The majority of published data and the field use of silica fume have been with silica fume produced from alloys of 75% elemental silicon or higher. ASTM C1240 defines this silica fume as having a minimum 85% amorphous silicon dioxide. Limited applications have been made using fume produced from lower silicon content alloys. The U.S. Environmental Protection Agency considers silica fume to be a valuable recyclable material for use in federally funded concrete construction. For more information about silica fume in concrete, refer to ACI 234R.

Silica fume is also collected as a by-product in the production of other elemental alloys. Little published data are available on the properties of these fumes. The use of these fumes should be avoided unless data on their favorable performance in concrete are available.

Silica fume was initially viewed as a cement replacement material, and, in some parts of the world, is still used as such. In general, for low-permeable concrete applications, part of the cement may be replaced by a much smaller quantity of silica fume. For example, one part of silica fume replaces three to four parts of cement (mass to mass) without loss of strength, provided that the water content remains constant. The replacement of cement by silica fume may not affect all hardened concrete properties to the same degree.

Due to its high surface area and because silica fume is highly pozzolanic, its addition to the concrete usually increases water demand and results in a more cohesive concrete mixture. If it is desired to maintain the same  $w/cm$  (by mass), water-reducing admixtures (WRAs), high-range water-reducing admixtures (HRWRAs), or both, should be used to obtain the required workability. To maintain the same apparent degree of workability, an increase in slump of 1 to 2 in. will normally be required for silica-fume concrete.

Because of the limited availability and higher cost (relative to portland cement and other pozzolans), silica fume is being used primarily as a property-enhancing material for concrete. In this role, silica fume has been used to provide concrete with higher compressive strengths. Silica-fume concrete has been used in numerous high-strength concrete applications.

Silica fume is available commercially in several forms: dry or densified dry, each with or without chemical admixtures. Silica fume or products containing silica fume are available in bulk, drums, and bags, depending on the supplier. For more information on silica fume, refer to ACI 234R.

#### 4.5—Slag cement

Slag cement, sometimes referred to as granulated blast-furnace slag, is produced during the iron production process. In the production of iron, the blast furnace is continuously charged from the top with iron oxide (ore, pellets, sinter), fluxing stone (limestone and dolomite), and fuel (coke). Two products are obtained from the furnace: molten iron that collects in the bottom of the furnace (hearth) and liquid iron blast-furnace slag floating on the pool of iron. Both are periodically tapped from the furnace at a temperature of approximately 2730° F.

The composition of blast-furnace slag is determined by that of the ores, fluxing stone, and impurities in the coke charged into the blast furnace. Typically, silicon, calcium, aluminum, magnesium, and oxygen constitute 95% or more of the blast-furnace slag.

Quenching with water is the most common process for granulating slag to be used as cementitious materials. The blast-furnace slag is quenched almost instantaneously to a temperature below the boiling point of water, producing particles of highly glassy material. The resulting product is called granulated blast-furnace slag or slag cement. Other methods used to formulate slag cement are described in detail in ACI 233R.

When slag cement is mixed with water, initial hydration is much slower than portland cement mixed with water; therefore, portland cement or alkali salts or lime are used to increase the reaction rate. Hydration of slag cement in the presence of portland cement depends largely on breakdown and dissolution of the glassy slag structure by hydroxyl ions released during the hydration of the portland cement. In the hydration of slag cement, the slag reacts with alkali and calcium hydroxide ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) to produce additional CSH. Regourd (1987) showed that a very small immediate reaction also takes place when slag is mixed with water, preferentially releasing calcium and aluminum ions to solution. The reaction is limited, however, until additional alkali, calcium hydroxide, or sulfates are available for reaction.

Slag cement concrete has demonstrated compatibility with pozzolanic materials such as fly ash, silica fume, and other materials that may be used in high-performance concrete.

More information about slag cement and its use in concrete is available in ACI 233R.

#### 4.6—Combinations of other cementitious materials

Combinations of cementitious materials, such as rice hull ash, diatomaceous earth, metakaolin, and calcium-aluminate cement have been used with portland cement in the production of high-strength concrete. Some of these materials can help control the temperature rise in concrete at early ages, and may reduce the water demand of high-strength concrete. For

more information about the use of other cementitious materials in concrete, refer to ACI 232.1R.

With increasing demand for high-performance concrete, enhanced durability, and environmental sustainability, the use of combinations of cements and supplementary cementing materials is becoming more common. Three- and four-part cementitious materials mixtures, often referred to as ternary and quad blends, respectively, may be used to impart specific plastic and hardened characteristics to the concrete. Quad-blend cements are sold as engineers' cement in Australia and as marine cement in China.

In such concrete mixtures, the purpose of the design is specific to certain performance criteria. This can be for lower heat of hydration, controlled setting characteristics and rate of strength gain, reduced permeability, or other strength and durability enhancements. Often the attempt is to develop an engineered design of the concrete mixture to offset deficiencies in the properties of a portland cement or binary mixture. This does not preclude achieving higher strengths. Actually, the extended duration of the pozzolanic and cementitious action of the combination can often result in very high strengths at later ages. Common examples of such blends would be:

1. Portland cement + fly ash + silica fume;
2. Portland cement + slag cement + silica fume;
3. Portland cement + slag cement + fly ash; and
4. Portland cement + slag cement + fly ash + silica fume.

The supplementary cementitious materials and possible portland-cement content in these blends are often at lower percentages than when used in simple binary combinations (Elkem 2003b). This often leads to optimized mixture proportions and lower cost, either in terms of materials or constructibility.

Ternary blends are in worldwide use. In addition to everyday use in the United States and Canada, international projects, including the Storebælt Link in Denmark, the Tsing Ma and Ting Kau bridges in Hong Kong, LNG tanks at Dabehj, and the Bandra Worli Sealink project in India, all used ternary blends (Elkem 2001a,b; 2003a).

With the increasing focus on the reuse of by-products from various industrial processes, the advent of other pozzolanic or filler materials within the marketplace is to be expected. This will increase the possibility of further blends.

Due to the many possible combinations of these materials and the percentages used, this document does not cover the proportioning methods for such blends. Typically, the starting point for these mixtures is an existing portland cement only or binary mixture that is then modified to achieve the specific requirements of a project. If such multiple cementitious mixtures are specified or being considered for a project, reference should be made to the ready mixed concrete producer or suppliers of the cementitious materials for technical assistance in the mixture design process. Constraints such as the material storage and batching capabilities, material availability, and potential setup costs relative to the size of a proposed project should be considered before ternary or quad blends are specified.



#### 4.7—Mixing water

Potable water is usually acceptable. When other sources of water are to be used, they should meet the water quality standards stated in ASTM C1602/C1602M. Water sources should be tested for suitability to be used in concrete mixtures in accordance with ASTM C1603.

#### 4.8—Coarse aggregate

In the proportioning of high-strength concrete, the aggregates require special consideration because they occupy the largest volume of any ingredient in the concrete, and they greatly influence the strength and other properties of the concrete. The coarse aggregate will significantly influence the strength and structural properties of the concrete. For this reason, a coarse aggregate should be chosen that is sufficiently sound, free of fissures or weak planes, clean, and free of surface coatings. Coarse aggregate properties also affect aggregate-mortar bond characteristics and mixing-water requirements (Kosmatka et al. 2002).

High-strength concrete may be manufactured with a broad array of coarse aggregate sizes and mineral compositions. ACI Committee 211 recommends that the user investigate the impact of type, shape, size, gradation, and aggregate mineralogy on the compressive strength of concrete in the prospective local market by conducting trial batches.

#### 4.9—Fine aggregate

The grading and particle shape of the fine aggregate are significant factors in the production of high-strength concrete. Particle shape and surface texture of the fine aggregate can have as great an effect on mixing-water requirements and compressive strength of concrete as do those of the coarse aggregate (Kosmatka et al. 2002).

The quantity of paste required per unit volume of a concrete mixture decreases as the relative volume of coarse versus fine aggregate increases. Because the amount of cementitious material contained in high-strength concrete is large, the volume of fines (materials passing the No. 100 sieve) tends to be high. Consequently, the volume of fine aggregate can be kept to the minimum necessary to achieve the needed workability and consolidation. In this manner, it will be possible to produce higher-strength concrete for a given cementitious material content. Fine aggregate contents of high-strength concrete mixtures are usually lower than those in normal-strength concrete. The coarser fine aggregate sizes and reduced total fine aggregate volume contribute to reduced water demand and increased concrete strength.

The fine aggregate should meet the requirements of ASTM C33. Generally, for high-strength concrete, fine aggregate with a higher fineness modulus (FM) is preferred. FMs in the range of 2.5 to 3.2 or higher are typical. Concrete mixtures made with a fine aggregate that has an FM of less than 2.5 may cause the concrete to be sticky and result in poor workability and a higher water demand. It is sometimes possible to blend fine aggregates from different sources to improve their grading and their capacity to produce higher strengths. If manufactured fine aggregates are used, consideration should be given to a possible increase in water

demand for workability. The particle shape and the increased surface area of manufactured fine aggregates over natural fine aggregates can significantly affect water demand.

#### 4.10—Chemical admixtures

The use of chemical admixture to increase the effectiveness of the cementitious materials either by reducing the water requirements and/or by dispersing the cementitious materials will result in higher strength. Chemical admixtures should meet the requirements of ASTM C494/C494M.

In this guide, chemical admixture dosage rates are based on fluid ounces per 100 lb (oz/cwt) of total cementitious material. If powdered admixtures are used, dosage rates are on a dry mass basis. The use of chemical admixtures may control slump loss and the rate of hardening resulting in improved workability, extended time from batching to placing (particularly in hot weather concrete), accelerated strength gain, and better durability.

High-range water-reducing admixtures (HRWRAs) are most effective in concrete mixtures that are rich in cement and other cementitious materials. HRWRAs help in dispersing cement particles, and they can reduce mixing water requirements by more than 30%, thereby increasing concrete compressive strengths.

Generally, high-strength concrete can contain one or more of the following admixtures: water-reducing/retarding admixture, high-range water-reducing admixtures, and hydration stabilizers. The dosage rates of admixtures will most likely be different from the manufacturer's published recommended dosage rates for normal-strength concrete mixtures. It is recommended that the admixture manufacturer be consulted regarding the applicability of the use of the specific admixtures and admixture combinations for high-strength concrete mixtures.

Although only limited information is available, high-strength concrete also has been produced using a combination of chemical admixtures, such as a high dosage rate of a normal-set water-reducer and a set accelerator. The performance of the admixtures is influenced by the types of cementitious materials used. The optimum dosage of an admixture or combination of admixtures should be determined by trial mixtures using varying amounts of admixtures.

Air-entraining admixtures are seldom used in high-strength concrete building applications when there are no freezing and thawing concerns other than during the construction period. If entrained air is required because of severe exposure, it will reduce the compressive strength of the concrete. Information on the reduction in concrete strength as a result of air entrainment can be found in ACI 211.1. For guidance on the amount of air needed in high-strength concrete, reference ACI 318.

## CHAPTER 5—HIGH-STRENGTH CONCRETE MIXTURE PROPERTIES

### 5.1—Introduction

The procedure described in ACI 211.1 for proportioning normal-strength concrete is similar to that required for high-strength concrete. The procedure consists of a series of steps

that, when completed, provide a mixture meeting workability,  $w/cm$ , strength, and durability requirements based on the combined properties of the individually selected and proportioned components. In the development of a high-strength concrete mixture, obtaining the optimum proportions is based on a series of trial batches having different proportions and cementitious material contents.

### 5.2—Water-cementitious material ratio

Because most high-strength concrete mixtures contain other cementitious materials, a  $w/cm$  should be considered in place of the traditional  $w/c$ . The  $w/cm$ , like the  $w/c$ , should be calculated on a mass basis. The mass of water in an HRWRA should be included in the  $w/cm$ .

The relationship between  $w/cm$  and compressive strength, which has been identified in normal-strength concrete, is valid for high-strength concrete as well. The use of chemical admixtures and other cementitious materials has been proven generally essential to producing placeable concrete with a low  $w/cm$ ; see Table 6.5.

### 5.3—Workability

For the purpose of this guide, workability is that property of freshly mixed concrete that determines the ease with which it can be properly mixed, placed, consolidated, and finished without segregation.

**5.3.1 Slump**—In general, high-strength concrete should be placed at the lowest slump that can be properly handled and consolidated in the field. High-strength concrete is commonly placed at slumps in excess of 7 in. with HRWRAs without segregation. Placement conditions, pumping requirements, reinforcement spacing, and form details should be considered before development of concrete mixtures.

Because of high coarse aggregate and cementitious material contents and low  $w/cm$ , high-strength concrete can be difficult to place. Flowing concrete with slumps in excess of 8 in. that incorporate HRWRAs are very effective in filling the voids between closely-spaced reinforcement.

## CHAPTER 6—HIGH-STRENGTH CONCRETE MIXTURE PROPORTIONING USING FLY ASH

### 6.1—Fundamental relationship

When concrete containing fly ash is properly cured, fly ash reaction products partially fill in the spaces, originally occupied by mixing water, that are not filled by the hydration products of the cement, thus lowering the concrete permeability to water and aggressive chemicals (Manmohan and Mehta 1981).

**6.1.1 Materials selection**—Fly ash is normally used at 15 to 35% by mass of total cementitious material. Class C fly ashes often exhibit a higher rate of reaction at early ages than Class F fly ashes.

**6.1.2 Special consideration**—When concrete is kept moist, the continued pozzolanic activity of fly ash provides strength gain at later ages after the rate of strength gain of portland cement has slowed. Concrete containing fly ash may achieve higher strengths at later ages than concrete without fly ash. This strength gain will continue with time as long as moisture is available and will result in higher later-age strength than can be achieved by using additional cement

Table 6.1—Recommended slump for concrete with and without HRWRA

Concrete made using HRWRA*	
Slump before adding HRWRA	1 to 2 in.
Concrete made without HRWRA	
Slump	2 to 4 in.

\*Adjust slump to that desired in the field through the addition of HRWRA.

(Berry and Malhotra 1980). The ability of fly ash to aid in achieving high ultimate strengths has made it a very important ingredient in the production of high-strength concrete.

### 6.2—Concrete mixture proportioning

**6.2.1 Purpose**—Proper proportioning is required for all materials used. Because the performance of high-strength concrete is highly dependent on the properties of its individual components, the proportioning procedure is meant to produce mixture proportions based on the performance of adjusted laboratory and field trial batches. This procedure further ensures that the properties and characteristics of the materials used in the trial mixtures are adequate to achieve the desired concrete compressive strength. Guidelines for the selection of materials for producing high-strength concrete are provided in ACI 363.2R.

The project specifications should be reviewed before starting the proportioning of high-strength concrete mixtures. The review will establish the design criteria for specified strengths, the age when strengths are to be attained, and other testing acceptance criteria.

**6.2.2 Introduction**—Because fly ash properties vary depending on the source, type, and class, the most effective method to establish proper mixture strength and performance for a specific application using fly ash in the concrete mixture is a trial batch program (ACI 211.1).

**6.2.3 Mixture proportioning procedure**—Completion of the following steps will result in a set of high-strength concrete laboratory trial proportions. These proportions will then provide the basis for field testing concrete batches from which the optimum mixture proportions may be chosen.

**6.2.3.1 Step 1: Select slump and required concrete strength**—Recommended values for concrete slump are given in Table 6.1. Although high-strength concrete with HRWRA has been produced successfully without a measurable initial slump, an initial starting slump of 1 to 2 in. before adding HRWRA is recommended. This will ensure an adequate amount of water is available for mixing and hydration and allows the HRWRA to be effective. Slump values after addition of HRWRA of at least 2 in. are recommended because concrete with a slump less than 2 in. is difficult to consolidate.

For high-strength concrete made without HRWRA, a recommended slump range of 2 to 4 in. may be chosen according to the type of work to be done. A minimum value of 2 in. of slump is recommended for concrete without HRWRA.

HRWRA dosage should be adequate for both the anticipated contribution to strength and the desired workability. Slump after adding HRWRA should be enough for proper placement and consolidation, but not so much as to cause segregation.



**Table 6.2—Suggested maximum-size coarse aggregate**

Required concrete strength, psi	Suggested maximum-size coarse aggregate, in.
<9000	3/4 to 1
>9000	3/8 to 1/2*

\*When using HRWRA and selected coarse aggregate, concrete compressive strengths in the range of 9000 to 13,000 psi can be attained using larger-than-recommended nominal maximum-size coarse aggregates of up to 1 in.

**Table 6.3—Recommended volume of coarse aggregate per unit volume of concrete**

Nominal maximum size, in.	3/8	1/2	3/4	1
Fractional volume <sup>a</sup> of oven-dry-rodded coarse aggregate (VCA)	0.65	0.68	0.72	0.75

<sup>a</sup>Volumes are based on aggregates in oven-dry-rodded condition as described in ASTM C360/C364 for unit bulk or bulk density of aggregate.

Because this slump is chemically induced and not the result of added water, traditional slump limits do not apply.

The required concrete strength to use in the trial mixture procedure should be determined using the guidelines provided in Chapter 2.

**6.2.3.2 Step 2: Select maximum size of aggregate.**—Based on strength requirements, the recommended nominal maximum sizes for coarse aggregates are given in Table 6.2. Also, ACI 318 states the maximum size of an aggregate should not exceed 1/5 of the narrowest dimension between sides of forms, 1/3 of the depth of slabs or concrete element, nor 3/4 of the minimum clear spacing between individual reinforcing bars, bundles of bars, or prestressing tendons or ducts.

**6.2.3.3 Step 3: Select optimum coarse aggregate content.**—The optimum content of the coarse aggregate depends on its strength, potential characteristics, and maximum size.

In proportioning normal-strength concrete mixtures, the optimum content of coarse aggregate is given as a function of the maximum size and fineness modulus of the fine aggregate. High-strength concrete mixtures, however, have a high content of cementitious material and thus are not so dependent on the fine aggregate to supply fines for lubrication and consolidation of the fresh concrete.

The recommended coarse aggregate contents, expressed as a fraction of the bulk density, are given in Table 6.3 as a function of nominal maximum size. The values given in Table 6.3 are recommended for use with fine aggregates having fineness modulus values from 2.5 to 3.2.

Once the coarse aggregate content has been chosen from Table 6.3, the required mass of the coarse aggregate per cubic yard of concrete can be calculated using Eq. (6-1)

$$\text{Mass of coarse aggregate} = \text{VCA} \times \text{bulk density} \times 27 \quad (6-1)$$

where VCA is the fractional volume from Table 6.3.

**6.2.3.4 Step 4: Estimate mixing water and air content.**—The quantity of water per unit volume of concrete required to produce a given slump is dependent on many factors, including the maximum size, particle shape, and grading of

**Table 6.4—First estimate of mixing water requirement and air content of freshly mixed concrete based on using fine aggregate with 35% voids**

Slump, in.	Mixing water, lb/yd <sup>3</sup> <sup>a</sup>			
	Maximum-size coarse aggregate, in.			
	3/8	1/2	3/4	1
1 to 2	310	295	285	280
2 to 3	320	310	295	290
3 to 4	330	320	305	300
Entrapped air content	3 (2.5) <sup>b</sup>	2.5 (2.0) <sup>b</sup>	2 (1.5) <sup>b</sup>	1.5 (1.0) <sup>b</sup>

<sup>a</sup>Values given must be adjusted for fine aggregates with voids other than 35% using Eq. (6-3).

<sup>b</sup>Mixtures made using HRWRA.

the aggregate; the quantity of cement; the amount of fly ash; and the type of chemical admixture used. Therefore, the most effective way to determine the best proportions for a given set of ingredients is through the process of trial batching. If an HRWRA is used, the water content in this admixture is calculated to be a part of the w/cm. Table 6.4 gives estimates of required mixing water for high-strength concrete made with 3/8 to 1 in. maximum-size aggregates before adding any chemical admixture. Also given are the corresponding estimated values for entrapped air content. These quantities of mixing water are maximums for reasonably well-shaped, clean, angular coarse aggregates, well-graded within the limits of ASTM C33. Because particle shape and surface texture of a fine aggregate can significantly influence its voids content, mixing water requirements may be different from the values given.

The void content of a fine aggregate may be calculated using Eq. (6-2)

$$\text{Void content } V, \% = \left(1 - \frac{\text{bulk density}}{\text{relative density} \times 62.4}\right) \times 100 \quad (6-2)$$

When a fine aggregate with a void content other than 35% is used, an adjustment is made to the recommended mixing water content. This adjustment (the amount to be added or reduced) may be calculated using Eq. (6-3)

$$\text{Mixing water adjustment, lb/yd}^3 = (V - 35) \times 8 \quad (6-3)$$

The use of Eq. (6-3) results in a water adjustment of 8 lb/yd<sup>3</sup> of concrete for each 1% deviation from 35% void content.

**6.2.3.5 Step 5: Select w/cm.**—The w/cm is calculated by dividing the mass of the mixing water by the combined mass of the cement and fly ash (and other cementitious materials).

In Table 6.5, recommended maximum w/cm is given as a function of maximum-size aggregate to achieve different compressive strengths at either 28 or 56 days. The use of an HRWRA generally increases the compressive strength of concrete. The w/cm values given in Table 6.5 are for concrete made with and without HRWRA.

The committee is aware of high-strength concrete proportioned without the use of HRWRA, however, the use

Table 6.5—Recommended maximum w/c/m for high-strength concrete

Required average compressive strength $f_{cr}^*$ , psi		w/c/m							
		Maximum-size coarse aggregate, in.							
		3/8		1/2		3/4		1	
		with HRWRA	without HRWRA	with HRWRA	without HRWRA	with HRWRA	without HRWRA	with HRWRA	without HRWRA
7000	28-day	0.50	0.42	0.48	0.41	0.45	0.40	0.43	0.39
	56-day	0.55	0.46	0.52	0.45	0.48	0.44	0.46	0.43
8000	28-day	0.44	0.35	0.42	0.34	0.40	0.33	0.38	0.33
	56-day	0.48	0.38	0.45	0.37	0.42	0.36	0.40	0.35
9000	28-day	0.38	0.30	0.36	0.29	0.35	0.29	0.34	0.28
	56-day	0.42	0.33	0.39	0.32	0.37	0.31	0.36	0.30
10,000	28-day	0.33	0.26	0.32	0.26	0.31	0.25	0.30	0.25
	56-day	0.37	0.29	0.35	0.28	0.33	0.27	0.32	0.26
11,000	28-day	0.30	—	0.29	—	0.27	—	0.27	—
	56-day	0.33	—	0.31	—	0.29	—	0.29	—
12,000	28-day	0.27	—	0.26	—	0.25	—	0.25	—
	56-day	0.30	—	0.28	—	0.27	—	0.26	—

\* $f_{cr}$  = 1.10 $f_c$  + 700 psi.

of HRWRA is recommended. A comparison of the values contained in Table 6.5 permits the following conclusions:

1. For a given w/c/m, the field strength of concrete is greater with the use of HRWRA than without it, and this greater strength is reached within a shorter period of time; and

2. With the use of HRWRA, a given concrete field strength can be achieved in a given period of time using less cementitious material than would be required when not using HRWRA.

**6.2.3.6 Step 6: Calculate content of cementitious material**—The mass of cementitious material required per cubic yard of concrete can be determined by dividing the amount of mixing water per cubic yard of concrete (Step 4) by the w/c/m (Step 5). If the specifications include a maximum or minimum limit on the amount of cementitious material per cubic yard of concrete, however, this must be satisfied. Therefore, the mixture should be proportioned to contain the larger quantity of cementitious material required.

**6.2.3.7 Step 7: Proportion basic mixture with no other cementitious material**—One trial mixture should be made with portland cement as the only cementitious material. The following steps should be followed to complete this basic mixture proportion:

1. **Cement content**—For this mixture, because no other cementitious material is to be used, the mass of cement equals the mass of cementitious material calculated in Step 6; and

2. **Fine aggregate content**—After determining the masses per cubic yard of coarse aggregate, cement, water, and the percentage of air content, the fine aggregate content can be calculated to produce 27.0 ft<sup>3</sup> using the absolute volume method.

**6.2.3.8 Step 8: Proportion companion mixtures using fly ash**—To determine optimum mixture proportions, the user needs to prepare several trial mixtures having different combinations and percentages of cementitious materials.

The use of fly ash in producing high-strength concrete can result in lowered water demand, reduced concrete temperature, and reduced cost. Due to variations in the chemical properties

Table 6.6—Recommended values for fly ash replacement of portland cement

Fly ash	Recommended replacement (percent by mass)
Class F	15 to 25
Class C	20 to 35

of fly ash, however, the strength-gain characteristics of the concrete might be affected. It is therefore recommended that at least two different fly ash contents be used for the companion trial mixtures. The following steps should be completed for each companion trial mixture to be proportioned:

1. **Fly ash type**—Due to differing chemical compositions, the water-reducing and strength-gaining characteristics of fly ash will vary with the type used and its source. Therefore, these characteristics, as well as availability, should be considered when choosing the fly ash to be used;

2. **Fly ash content**—The amount of cement to be replaced by fly ash depends on the type of material to be used. The recommended limits for replacement are given in Table 6.6 for the two classes of fly ash. For each companion trial mixture to be designed, a replacement percentage should be chosen from Table 6.6;

3. **Fly ash mass**—Once the percentages for replacement have been chosen, the mass of the fly ash to be used for each companion trial mixture can be calculated by multiplying the total mass of cementitious materials (Step 6) by the replacement percentages previously chosen. The remaining mass of cementitious material corresponds to the mass of cement. Therefore, for each mixture, the mass of fly ash plus the mass of cement should equal the mass of cementitious materials calculated in Step 6;

4. **Volume of fly ash**—Due to the differences in relative density of portland cement and fly ash, the volume of cementitious materials per cubic yard will vary with the fly ash content, even though the mass of the cementitious material remains constant. Therefore, for each mixture, the volume of



cementitious material should be calculated by adding the volume of cement and the volume of fly ash; and

5. *Fine aggregate content*—Having determined the volume of cementitious material per cubic yard of concrete for each companion trial mixture, and given the previously determined volumes per cubic yard of coarse aggregate, water, and entrapped air (Step 7), the fine aggregate content of each companion trial mixture is calculated using the absolute volume method.

6.2.3.9 *Step 9: Trial mixtures*—For each of the trial mixtures proportioned in Steps 1 through 8, a laboratory trial batch should be produced to determine the workability and strength characteristics of the mixtures. The masses of fine aggregate, coarse aggregate, and water should be adjusted to correct for the moisture condition of the aggregates used. Each trial batch should be such that, after a thorough mixing, a uniform concrete mixture of at least 3.0 ft<sup>3</sup>, or larger if necessary, to conduct the freshly mixed concrete testing, and fabricate the required number of test specimens.

6.2.3.10 *Step 10: Adjust trial mixture proportions*—If the desired properties of the concrete are not obtained, the original trial mixture proportions should be adjusted according to the following guidelines to produce the desired workability.

1. *Initial slump*—If the initial slump of the trial mixture is not within the desired range, the mixing water or the admixture dosage should be adjusted. The mass of cementitious material in the mixture should be adjusted to maintain the desired *w/cm*. The fine aggregate content should then be adjusted to ensure proper yield of the concrete;

2. *HRWRA dosage rate*—If HRWRA is used, different dosage rates should be tried to determine the effect on strength and workability of the concrete mixture. Because of the nature of high-strength concrete mixtures, higher dosage rates than those recommended by the admixture manufacturer may still function without segregation. Also, because the time of addition of the HRWRA and concrete temperature can impact the effectiveness of the admixture, its use in laboratory trial mixtures may have to be adjusted for field conditions. In practice, redosing with HRWRA to restore workability results in increased strengths at nearly all test ages; however, an excessive dosage of HRWRA can retard the initial setting time of concrete, which may increase the potential for plastic shrinkage cracking on flatwork applications;

3. *Coarse aggregate content*—Once the concrete trial mixture has been adjusted to the desired slump, it should be determined if the mixture is too harsh for job placement or finishing requirements. If needed, the coarse aggregate content may be reduced, and the fine aggregate content adjusted accordingly to ensure proper yield. This may, however, increase the water demand of the mixture, thereby increasing the required content of cementitious material to maintain a given *w/cm*. In addition, a reduction in coarse aggregate content may result in a lower modulus of elasticity for the hardened concrete;

4. *Air content*—If air entrainment is required and the measured air content differs significantly from the designed proportion calculations, then the dosage should be adjusted to maintain yield; and

5. *w/cm*—If the required concrete compressive strength is not achieved using the *w/cm* recommended in Table 6.5, additional trial mixtures with lower *w/cm* should be tested. If this does not result in increased compressive strengths, the adequacy of the materials used should be reviewed.

6.2.3.11 *Step 11: Select optimum mixture proportions*—Once the trial mixture proportions have been adjusted to produce the desired properties, strength specimens should be cast from trial batches made under the expected field conditions according to the requirements of ACI 318. Practicalities of production and quality control procedures are better evaluated when production-size trial batches are prepared using the equipment and procedures that are to be used in the actual work.

## 6.3—Sample calculations

6.3.1 *Introduction*—An example is presented herein to illustrate the mixture proportioning procedure for high-strength concrete discussed in the preceding section. Laboratory trial batch results will depend on the actual materials used. In this example, Type I cement having a relative density of 3.15 is used.

6.3.2 *Example*—High-strength concrete is required for the columns in the first three floors of a high-rise office building. The specified compressive strength is 9000 psi at 28 days. Due to the close spacing of steel reinforcement in the columns, the largest nominal maximum-size aggregate that can be used is 1/2 in. A fine aggregate that meets ASTM C33 limits will be used, which has the following properties:

1. FM = 2.9 fineness modulus;
2. RD<sub>CD</sub> = 2.59 relative density, based on oven-dry;
3. Abs = 1.1% absorption, based on oven-dry;
4. BD = 105 lb/ft<sup>3</sup> bulk density; and
5. HRWRA and a set-retarding admixtures will be used.

6.3.2.1 *Step 1: Select slump and required concrete strength*—Because an HRWRA is used, the concrete will be designed based on a slump of 1 to 2 in. before the addition of the HRWRA according to Table 6.1.

In this example, the ready mixed concrete producer has no previous history with high-strength concrete, and therefore should select proportions based on laboratory trial mixtures. Using Eq. (3-3), the required average strength used for selection of concrete proportions is

$$f'_c = 1.10 \times (9000) + 700 = 10,600 \text{ psi} \quad (3-3)$$

6.3.2.2 *Step 2: Select maximum size of aggregate*—Based on the guidelines in Table 6.2, a crushed limestone having a nominal maximum size of 1/2 in. will be used. The crushed limestone properties are as follows:

1. RD<sub>CD</sub> = 2.76 relative density, based on oven-dry;
2. Abs = 0.7% absorption, based on oven-dry; and
3. BD = 101 lb/ft<sup>3</sup> bulk density.

The grading of the aggregate should comply with ASTM C33, No. 7, 1/2 in. coarse aggregate.

6.3.2.3 *Step 3: Select optimum coarse aggregate content*—The optimum coarse aggregate content, selected from Table 6.3, is 0.68 per unit volume of content. The dry mass of coarse aggregate per cubic yard of concrete,  $W_{dry}$ , is then

## Anexo G-2: Práctica estándar para fabricación y curado de especímenes de concreto (ASTM C31/C31M- 03a).



Designation: C 31/C 31M – 03a

### Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C 31/C 31M, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

*This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.*

#### 1. Scope

1.1 This practice covers procedures for making and curing cylinder and beam specimens from representative samples of fresh concrete for a construction project.

1.2 The concrete used to make the molded specimens shall be sampled after all on-site adjustments have been made to the mixture proportions, including the addition of mix water and admixtures. This practice is not satisfactory for making specimens from concrete not having measurable slump or requiring other sizes or shapes of specimens.

1.3 The values stated in either inch-pound units or SI units shall be regarded separately as standard. The SI units are shown in brackets. The values stated may not be exact equivalents; therefore each system must be used independently of the other. Combining values from the two units may result in nonconformance.

1.4 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

1.5 The text of this standard references notes which provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:

- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates<sup>2</sup>
- C 138/C 138M Test Method for Density (Unit Weight), Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete<sup>2</sup>
- C 143/C 143M Test Method for Slump of Hydraulic Cement Concrete<sup>2</sup>
- C 172 Practice for Sampling Freshly Mixed Concrete<sup>2</sup>
- C 173/C 173M Test Method for Air Content of Freshly

- Mixed Concrete by the Volumetric Method<sup>2</sup>
- C 192/C 192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory<sup>2</sup>
- C 231 Test Method for Air Content of Freshly Mixed Concrete by the Pressure Method<sup>2</sup>
- C 330 Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete<sup>2</sup>
- C 403/C 403M Test Method for Time of Setting of Concrete Mixtures by Penetration Resistance<sup>2</sup>
- C 470/C 470M Specification for Molds for Forming Concrete Test Cylinders Vertically<sup>2</sup>
- C 511 Specification for Moist Cabinets, Moist Rooms, and Water Storage Tanks Used in the Testing of Hydraulic Cements and Concretes<sup>3</sup>
- C 617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens<sup>2</sup>
- C 1064/C 1064M Test Method for Temperature of Freshly Mixed Portland Cement Concrete<sup>2</sup>
- 2.2 *American Concrete Institute Publication:*<sup>4</sup>
  - CP-1 Concrete Field Testing Technician, Grade I
  - 309R Guide for Consolidation of Concrete

#### 3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this practice, refer to Terminology C 125.

#### 4. Significance and Use

4.1 This practice provides standardized requirements for making, curing, protecting, and transporting concrete test specimens under field conditions.

4.2 If the specimens are made and standard cured, as stipulated herein, the resulting strength test data when the specimens are tested are able to be used for the following purposes:

- 4.2.1 Acceptance testing for specified strength,
- 4.2.2 Checking adequacy of mixture proportions for strength, and

<sup>1</sup> This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Feb. 10, 2003. Published April 2003. Originally approved in 1920. Last previous edition approved in 2003 as C 31/C 31M-03.

<sup>2</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.01.

<sup>4</sup> Available from American Concrete Institute, P.O. Box 9094, Farmington Hills, MI 48333-9094.



C 31/C 31M – 03a

4.2.3 Quality control.

4.3 If the specimens are made and field cured, as stipulated herein, the resulting strength test data when the specimens are tested are able to be used for the following purposes:

4.3.1 Determination of whether a structure is capable of being put in service,

4.3.2 Comparison with test results of standard cured specimens or with test results from various in-place test methods,

4.3.3 Adequacy of curing and protection of concrete in the structure, or

4.3.4 Form or shoring removal time requirements.

5. Apparatus

5.1 *Molds, General*—Molds for specimens or fastenings thereto in contact with the concrete shall be made of steel, cast iron, or other nonabsorbent material, nonreactive with concrete containing portland or other hydraulic cements. Molds shall hold their dimensions and shape under all conditions of use. Molds shall be watertight during use as judged by their ability to hold water poured into them. Provisions for tests of water leakage are given in the Test Methods for Elongation, Absorption, and Water Leakage section of Specification C 470/C 470M. A suitable sealant, such as heavy grease, modeling clay, or microcrystalline wax shall be used where necessary to prevent leakage through the joints. Positive means shall be provided to hold base plates firmly to the molds. Reusable molds shall be lightly coated with mineral oil or a suitable nonreactive form release material before use.

5.2 *Cylinder Molds*—Molds for casting concrete test specimens shall conform to the requirements of Specification C 470/C 470M.

5.3 *Beam Molds*—Beam molds shall be of the shape and dimensions required to produce the specimens stipulated in 6.2. The inside surfaces of the molds shall be smooth. The sides, bottom, and ends shall be at right angles to each other and shall be straight and true and free of warpage. Maximum variation from the nominal cross section shall not exceed 1/8 in. [3 mm] for molds with depth or breadth of 6 in. [150 mm] or more. Molds shall produce specimens at least as long but not more than 1/8 in. [2 mm] shorter than the required length in 6.2.

5.4 *Tamping Rod*—A round, straight steel rod with the dimensions conforming to those in Table 1, having the tamping end or both ends rounded to a hemispherical tip of the same diameter as the rod.

5.5 *Vibrators*—Internal vibrators shall be used. The vibrator frequency shall be at least 7000 vibrations per minute [150 Hz] while the vibrator is operating in the concrete. The diameter of a round vibrator shall be no more than one-fourth the diameter of the cylinder mold or one-fourth the width of the beam mold. Other shaped vibrators shall have a perimeter equivalent to the

circumference of an appropriate round vibrator. The combined length of the vibrator shaft and vibrating element shall exceed the depth of the section being vibrated by at least 3 in. [75 mm]. The vibrator frequency shall be checked periodically.

NOTE 1—For information on size and frequency of various vibrators and a method to periodically check vibrator frequency see ACI 309.

5.6 *Mallet*—A mallet with a rubber or rawhide head weighing 1.25 ± 0.50 lb [0.6 ± 0.2 kg] shall be used.

5.7 *Small Tools*—Shovels, hand-held floats, scoops, and a vibrating-reed tachometer shall be provided.

5.8 *Slump Apparatus*—The apparatus for measurement of slump shall conform to the requirements of Test Method C 143/C 143M.

5.9 *Sampling Receptacle*—The receptacle shall be a suitable heavy gage metal pan, wheelbarrow, or flat, clean nonabsorbent board of sufficient capacity to allow easy remixing of the entire sample with a shovel or trowel.

5.10 *Air Content Apparatus*—The apparatus for measuring air content shall conform to the requirements of Test Methods C 173/C 173M or C 231.

5.11 *Temperature Measuring Devices*—The temperature measuring devices shall conform to the applicable requirements of Test Method C 1064/C 1064M.

6. Testing Requirements

6.1 *Cylindrical Specimens*—Compressive or splitting tensile strength specimens shall be cylinders cast and allowed to set in an upright position. The length shall be twice the diameter. The cylinder diameter shall be at least 3 times the nominal maximum size of the coarse aggregate. When the nominal maximum size of the coarse aggregate exceeds 2 in. [50 mm], the concrete sample shall be treated by wet sieving through a 2-in. [50-mm] sieve as described in Practice C 172. For acceptance testing for specified compressive strength, cylinders shall be 6 by 12 in. [150 by 300 mm] or when specified 4 × 8 in. [100 × 200 mm] (Note 2).

NOTE 2—When molds in SI units are required and not available, equivalent inch-pound unit size mold should be permitted.

6.2 *Beam Specimens*—Flexural strength specimens shall be beams of concrete cast and hardened in the horizontal position. The length shall be at least 2 in. [50 mm] greater than three times the depth as tested. The ratio of width to depth as molded shall not exceed 1.5. The standard beam shall be 6 by 6 in. [150 by 150 mm] in cross section, and shall be used for concrete with nominal maximum size coarse aggregate up to 2 in. [50 mm]. When the nominal maximum size of the coarse aggregate exceeds 2 in. [50 mm], the smaller cross sectional dimension of the beam shall be at least three times the nominal maximum size of the coarse aggregate. Unless required by project specifications, beams made in the field shall not have a width or depth of less than 6 in. [150 mm].

6.3 *Field Technicians*—The field technicians making and curing specimens for acceptance testing shall be certified ACI Field Testing Technicians, Grade 1 or equivalent. Equivalent personnel certification programs shall include both written and performance examinations, as outlined in ACI CP-1.

TABLE 1 Tamping Rod Requirements

Diameter of Cylinder or Width of Beam in. [mm]	Rod Dimensions <sup>a</sup>	
	Diameter in. [mm]	Length of Rod in. [mm]
6 [150]	3/8 [10]	12 [300]
6 [150]	5/8 [16]	20 [500]
9 [225]	5/8 [16]	26 [650]

<sup>a</sup> Rod tolerances length ± 4 in. [100 mm] and diameter ± 1/16 in. [2 mm].

**C 31/C 31M – 03a**

**7. Sampling Concrete**

7.1 The samples used to fabricate test specimens under this standard shall be obtained in accordance with Practice C 172 unless an alternative procedure has been approved.

7.2 Record the identification of the sample with respect to the location of the concrete represented and the time of casting.

**8. Slump, Air Content, and Temperature**

8.1 *Slump*—Measure and record the slump of each batch of concrete from which specimens are made immediately after remixing in the receptacle, as required in Test Method C 143/C 143M.

8.2 *Air Content*— Determine and record the air content in accordance with either Test Method C 173/C 173M or Test Method C 231. The concrete used in performing the air content test shall not be used in fabricating test specimens.

8.3 *Temperature*— Determine and record the temperature in accordance with Test Method C 1064/C 1064M.

*NOTE 3*—Some specifications may require the measurement of the unit weight of concrete. The volume of concrete produced per batch may be desired on some projects. Also, additional information on the air content measurements may be desired. Test Method C 138/C 138M is used to measure the unit weight, yield, and gravimetric air content of freshly mixed concrete.

**9. Molding Specimens**

9.1 *Place of Molding*— Mold specimens promptly on a level, rigid surface, free of vibration and other disturbances, at a place as near as practicable to the location where they are to be stored.

9.2 *Casting Cylinders*—Select the proper tamping rod from 5.4 and Table 1 or the proper vibrator from 5.5. Determine the method of consolidation from Table 2, unless another method is specified. If the method of consolidation is rodding, determine molding requirements from Table 3. If the method of consolidation is vibration, determine molding requirements from Table 4. Select a small tool of a size and shape large enough so each amount of concrete obtained from the sampling receptacle will be representative and small enough so concrete is not lost when being placed in the mold. While placing the concrete in the mold, move the small tool around the perimeter of the mold opening to ensure an even distribution of the concrete and minimize segregation. Each layer of concrete shall be consolidated as required. In placing the final layer, add an amount of concrete that will fill the mold after consolidation.

9.3 *Casting Beams*— Select the proper tamping rod from 5.4 and Table 1 or proper vibrator from 5.5. Determine the method of consolidation from Table 2, unless another method is specified. If the method of consolidation is rodding, determine the molding requirements from Table 3. If the method of consolidation is vibration, determine the molding requirements from Table 4. Determine the number of roddings per layer, one

**TABLE 3 Molding Requirements by Rodding**

Specimen Type and Size	Number of Layers of Approximately Equal Depth	Number of Roddings per Layer
<b>Cylinders:</b>		
Diameter, in. [mm]		
4 [100]	2	25
6 [150]	3	25
9 [225]	4	50
<b>Beams:</b>		
Width, in. [mm]		
6 [150] to 8 [200]	2	see 9.3
>8 [200]	3 or more equal depths, each not to exceed 6 in. [150 mm].	see 9.3

**TABLE 4 Molding Requirements by Vibration**

Specimen Type and Size	Number of Layers	Number of Vibrator Insertions per Layer	Approximate Depth of Layer, in. [mm]
<b>Cylinders:</b>			
Diameter, in. [mm]			
4 [100]	2	1	one-half depth of specimen
6 [150]	2	2	one-half depth of specimen
9 [225]	2	4	one-half depth of specimen
<b>Beams:</b>			
Width, in. [mm]			
6 [150] to 8 [200]	1	see 9.4.2	depth of specimen
over 8 [200]	2 or more	see 9.4.2	8 [200] as near as practicable

for each 2 in.<sup>2</sup> [14 cm<sup>2</sup>] of the top surface area of the beam. Select a small tool, of the size and shape large enough so each amount of concrete obtained from the sampling receptacle is representative and small enough so concrete is not lost when placed in the mold. Each layer shall be consolidated as required. In placing the final layer, add an amount of concrete that will fill the mold after consolidation. Place the concrete so that it is uniformly distributed within each layer with a minimum of segregation.

9.4 *Consolidation*— The methods of consolidation for this practice are rodding or internal vibration.

9.4.1 *Rodding*—Place the concrete in the mold, in the required number of layers of approximately equal volume. Rod each layer with the rounded end of the rod using the required number of roddings. Rod the bottom layer throughout its depth. Distribute the roddings uniformly over the cross section of the mold. For each upper layer, allow the rod to penetrate through the layer being rodded and into the layer below approximately 1 in. [25 mm]. After each layer is rodded, tap the outsides of the mold lightly 10 to 15 times with the mallet, to close any holes left by rodding and to release any large air bubbles that may have been trapped. Use an open hand to tap light-gage single-use cylinder molds which are susceptible to damage if tapped with a mallet. After tapping, spade each layer of the concrete along the sides and ends of beam molds with a trowel or other suitable tool. Underfilled molds shall be adjusted with representative concrete during consolidation of the top layer. Overfilled molds shall have excess concrete removed.

**TABLE 2 Method of Consolidation Requirements**

Slump in. (mm)	Method of Consolidation
≥ 1 [25]	rodding or vibration
< 1 [25]	vibration



## C 31/C 31M – 03a

9.4.2 *Vibration*—Maintain a uniform duration of vibration for the particular kind of concrete, vibrator, and specimen mold involved. The duration of vibration required will depend upon the workability of the concrete and the effectiveness of the vibrator. Usually sufficient vibration has been applied as soon as the surface of the concrete has become relatively smooth and large air bubbles cease to break through the top surface. Continue vibration only long enough to achieve proper consolidation of the concrete (see Note 4). Fill the molds and vibrate in the required number of approximately equal layers. Place all the concrete for each layer in the mold before starting vibration of that layer. In compacting the specimen, insert the vibrator slowly and do not allow it to rest on the bottom or sides of the mold. Slowly withdraw the vibrator so that no large air pockets are left in the specimen. When placing the final layer, avoid overfilling by more than  $\frac{1}{4}$  in. [6 mm].

Note 4—Generally, no more than 5 s of vibration should be required for each insertion to adequately consolidate concrete with a slump greater than 3 in. [75 mm]. Longer times may be required for lower slump concrete, but the vibration time should rarely have to exceed 10 s per insertion.

9.4.2.1 *Cylinders*—The number of insertions of the vibrator per layer is given in Table 4. When more than one insertion per layer is required distribute the insertion uniformly within each layer. Allow the vibrator to penetrate through the layer being vibrated, and into the layer below, approximately 1 in. [25 mm]. After each layer is vibrated, tap the outsides of the mold at least 10 times with the mallet, to close holes that remain and to release entrapped air voids. Use an open hand to tap cardboard and single-use metal molds that are susceptible to damage if tapped with a mallet.

9.4.2.2 *Beams*—Insert the vibrator at intervals not exceeding 6 in. [150 mm] along the center line of the long dimension of the specimen. For specimens wider than 6 in., use alternating insertions along two lines. Allow the shaft of the vibrator to penetrate into the bottom layer approximately 1 in. (25 mm). After each layer is vibrated, tap the outsides of the mold sharply at least 10 times with the mallet to close holes left by vibrating and to release entrapped air voids.

9.5 *Finishing*—After consolidation, strike off excess concrete from the surface and float or trowel as required. Perform all finishing with the minimum manipulation necessary to produce a flat even surface that is level with the rim or edge of the mold and that has no depressions or projections larger than  $\frac{1}{8}$  in. [3.3 mm].

9.5.1 *Cylinders*—After consolidation, finish the top surfaces by striking them off with the tamping rod where the consistency of the concrete permits or with a wood float or trowel. If desired, cap the top surface of freshly made cylinders with a thin layer of stiff portland cement paste which is permitted to harden and cure with the specimen. See section on Capping Materials of Practice C 617.

9.5.2 *Beams*—After consolidation of the concrete, use a hand-held float to strike off the top surface to the required tolerance to produce a flat, even surface.

9.6 *Identification*—Mark the specimens to positively identify them and the concrete they represent. Use a method that will not alter the top surface of the concrete. Do not mark the

removable caps. Upon removal of the molds, mark the test specimens to retain their identities.

## 10. Curing

10.1 *Standard Curing*—Standard curing is the curing method used when the specimens are made and cured for the purposes stated in 4.2.


10.1.1 *Storage*—If specimens cannot be molded at the place where they will receive initial curing, immediately after finishing move the specimens to an initial curing place for storage. The supporting surface on which specimens are stored shall be level to within  $\frac{1}{4}$  in. per ft [20 mm per m]. If cylinders in the single use molds are moved, lift and support the cylinders from the bottom of the molds with a large trowel or similar device. If the top surface is marred during movement to place of initial storage, immediately refinish.

10.1.2 *Initial Curing*—Immediately after molding and finishing, the specimens shall be stored for a period up to 48 h in a temperature range from 60 and 80°F [16 and 27°C] and in an environment preventing moisture loss from the specimens. For concrete mixtures with a specified strength of 6000 psi [40 MPa] or greater, the initial curing temperature shall be between 68 and 78°F [20 and 26°C]. Various procedures are capable of being used during the initial curing period to maintain the specified moisture and temperature conditions. An appropriate procedure or combination of procedures shall be used (Note 5). Shield all specimens from the direct sunlight and, if used, radiant heating devices. The storage temperature shall be controlled by use of heating and cooling devices, as necessary. Record the temperature using a maximum-minimum thermometer. If cardboard molds are used, protect the outside surface of the molds from contact with wet burlap or other sources of water.

Note 5—A satisfactory moisture environment can be created during the initial curing of the specimens by one or more of the following procedures: (1) immediately immerse molded specimens with plastic lids in water saturated with calcium hydroxide, (2) store in properly constructed wooden boxes or structures, (3) place in damp sand pits, (4) cover with removable plastic lids, (5) place inside plastic bags, or (6) cover with plastic sheets or nonabsorbent plates if provisions are made to avoid drying and damp burlap is used inside the enclosure, but the burlap is prevented from contacting the concrete surfaces. A satisfactory temperature environment can be controlled during the initial curing of the specimens by one or more of the following procedures: (1) use of ventilation, (2) use of ice, (3) use of thermostatically controlled heating or cooling devices, or (4) use of heating methods such as stoves or light bulbs. Other suitable methods may be used provided the requirements limiting specimen storage temperature and moisture loss are met. For concrete mixtures with a specified strength of 6000 psi [40 MPa] or greater, heat generated during the early ages may raise the temperature above the required storage temperature. Immersion in water saturated with calcium hydroxide may be the easiest method to maintain the required storage temperature. When specimens are to be immersed in water saturated with calcium hydroxide, specimens in cardboard molds or other molds that expand when immersed in water should not be used. Early-age strength test results may be lower when stored at 60°F [16°C] and higher when stored at 80°F [27°C]. On the other hand, at later ages, test results may be lower for higher initial storage temperatures.

### 10.1.3 *Final Curing:*

10.1.3.1 *Cylinders*—Upon completion of initial curing and within 30 min after removing the molds, cure specimens with

 C 31/C 31M – 03a

free water maintained on their surfaces at all times at a temperature of  $73 \pm 3^\circ\text{F}$  [ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ] using water storage tanks or moist rooms complying with the requirements of Specification C 511, except when capping with sulfur mortar capping compound and immediately prior to testing. When capping with sulfur mortar capping compound, the ends of the cylinder shall be dry enough to preclude the formation of steam or foam pockets under or in cap larger than  $\frac{1}{4}$  in. [6 mm] as described in Practice C 617. For a period not to exceed 3 h immediately prior to test, standard curing temperature is not required provided free moisture is maintained on the cylinders and ambient temperature is between  $68$  and  $86^\circ\text{F}$  [ $20$  and  $30^\circ\text{C}$ ].

10.1.3.2 *Beams*—Beams are to be cured the same as cylinders (see 10.1.3.1) except that they shall be stored in water saturated with calcium hydroxide at  $73 \pm 3^\circ\text{F}$  [ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ] at least 20 h prior to testing. Drying of the surfaces of the beam shall be prevented between removal from water storage and completion of testing.

NOTE 6—Relatively small amounts of surface drying of flexural specimens can induce tensile stresses in the extreme fibers that will markedly reduce the indicated flexural strength.

10.2 *Field Curing*—Field curing is the curing method used for the specimens made and cured as stated in 4.3.

10.2.1 *Cylinders*—Store cylinders in or on the structure as near to the point of deposit of the concrete represented as possible. Protect all surfaces of the cylinders from the elements in as near as possible the same way as the formed work. Provide the cylinders with the same temperature and moisture environment as the structural work. Test the specimens in the moisture condition resulting from the specified curing treatment. To meet these conditions, specimens made for the purpose of determining when a structure is capable of being put in service shall be removed from the molds at the time of removal of form work.

10.2.2 *Beams*—As nearly as practicable, cure beams in the same manner as the concrete in the structure. At the end of  $48 \pm 4$  h after molding, take the molded specimens to the storage location and remove from the molds. Store specimens representing pavements of slabs on grade by placing them on the ground as molded, with their top surfaces up. Bank the sides and ends of the specimens with earth or sand that shall be kept damp, leaving the top surfaces exposed to the specified curing treatment. Store specimens representing structure concrete as near the point in the structure they represent as possible, and afford them the same temperature protection and

moisture environment as the structure. At the end of the curing period leave the specimens in place exposed to the weather in the same manner as the structure. Remove all beam specimens from field storage and store in water saturated with calcium hydroxide at  $73 \pm 3^\circ\text{F}$  [ $23 \pm 2^\circ\text{C}$ ] for  $24 \pm 4$  h immediately before time of testing to ensure uniform moisture condition from specimen to specimen. Observe the precautions given in 10.1.3.2 to guard against drying between time of removal from curing to testing.

10.3 *Structural Lightweight Concrete Curing*—Cure structural lightweight concrete cylinders in accordance with Specification C 330.

## 11. Transportation of Specimens to Laboratory

11.1 Prior to transporting, cure and protect specimens as required in Section 10. Specimens shall not be transported until at least 8 h after final set. (See Note 7). During transporting, protect the specimens with suitable cushioning material to prevent damage from jarring. During cold weather, protect the specimens from freezing with suitable insulation material. Prevent moisture loss during transportation by wrapping the specimens in plastic, wet burlap, by surrounding them with wet sand, or tight fitting plastic caps on plastic molds. Transportation time shall not exceed 4 h.

NOTE 7—Setting time may be measured by Test Method C 403.

## 12. Report

12.1 Report the following information to the laboratory that will test the specimens:

- 12.1.1 Identification number,
- 12.1.2 Location of concrete represented by the samples,
- 12.1.3 Date, time and name of individual molding specimens,
- 12.1.4 Slump, air content, and concrete temperature, test results and results of any other tests on the fresh concrete and any deviations from referenced standard test methods, and
- 12.1.5 Curing method. For standard curing method, report the initial curing method with maximum and minimum temperatures and final curing method. For field curing method, report the location where stored, manner of protection from the elements, temperature and moisture environment, and time of removal from molds.

## 13. Keywords

13.1 beams; casting samples; concrete; curing; cylinders; testing

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).*



## Anexo G-3: Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de los especímenes cilíndricos de concreto (ASTM C39/C39M – 14).



Designation: C39/C39M – 14

### Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation C39/C39M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

*This standard has been approved for use by agencies of the U.S. Department of Defense.*

#### 1. Scope\*

1.1 This test method covers determination of compressive strength of cylindrical concrete specimens such as molded cylinders and drilled cores. It is limited to concrete having a density in excess of 800 kg/m<sup>3</sup> [50 lb/ft<sup>3</sup>].

1.2 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The inch-pound units are shown in brackets. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (Warning—Means should be provided to contain concrete fragments during sudden rupture of specimens. Tendency for sudden rupture increases with increasing concrete strength and it is more likely when the testing machine is relatively flexible. The safety precautions given in the [Manual of Aggregate and Concrete Testing](#) are recommended.)*

1.4 The text of this standard references notes which provide explanatory material. These notes shall not be considered as requirements of the standard.

#### 2. Referenced Documents

##### 2.1 ASTM Standards:<sup>2</sup>

C31/C31M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field

C42/C42M Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

C192/C192M Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory

C617 Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens

C670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials

C873 Test Method for Compressive Strength of Concrete Cylinders Cast in Place in Cylindrical Molds

C1077 Practice for Agencies Testing Concrete and Concrete Aggregates for Use in Construction and Criteria for Testing Agency Evaluation

C1231/C1231M Practice for Use of Unbonded Caps in Determination of Compressive Strength of Hardened Concrete Cylinders

E4 Practices for Force Verification of Testing Machines

E74 Practice of Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines  
[Manual of Aggregate and Concrete Testing](#)

#### 3. Summary of Test Method

3.1 This test method consists of applying a compressive axial load to molded cylinders or cores at a rate which is within a prescribed range until failure occurs. The compressive strength of the specimen is calculated by dividing the maximum load attained during the test by the cross-sectional area of the specimen.

#### 4. Significance and Use

4.1 Care must be exercised in the interpretation of the significance of compressive strength determinations by this test method since strength is not a fundamental or intrinsic property of concrete made from given materials. Values obtained will depend on the size and shape of the specimen, batching, mixing procedures, the methods of sampling, molding, and fabrication and the age, temperature, and moisture conditions during curing.

4.2 This test method is used to determine compressive strength of cylindrical specimens prepared and cured in accordance with Practices C31/C31M, C192/C192M, C617, and C1231/C1231M and Test Methods C42/C42M and C873.

4.3 The results of this test method are used as a basis for quality control of concrete proportioning, mixing, and placing

<sup>1</sup> This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.61 on Testing for Strength.

Current edition approved Feb. 1, 2014. Published February 2014. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2012 as C39/C39M–12a. DOI: 10.1520/C0039\_C0039M-14.

<sup>2</sup> For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, [www.astm.org](http://www.astm.org), or contact ASTM Customer Service at [service@astm.org](mailto:service@astm.org). For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

\*A Summary of Changes section appears at the end of this standard

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Mar 3 15:32:50 EST 2014  
Downloaded/printed by

Jose B (INSUMA) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

C39/C39M – 14

operations; determination of compliance with specifications; control for evaluating effectiveness of admixtures; and similar uses.

4.4 The individual who tests concrete cylinders for acceptance testing shall meet the concrete laboratory technician requirements of Practice C1077, including an examination requiring performance demonstration that is evaluated by an independent examiner.

NOTE 1—Certification equivalent to the minimum guidelines for ACI Concrete Laboratory Technician, Level I or ACI Concrete Strength Testing Technician will satisfy this requirement.

## 5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—The testing machine shall be of a type having sufficient capacity and capable of providing the rates of loading prescribed in 7.5.

5.1.1 Verify calibration of the testing machines in accordance with Practices E4, except that the verified loading range shall be as required in 5.3. Verification is required:

5.1.1.1 Within 13 months of the last calibration.

5.1.1.2 On original installation or immediately after relocation.

5.1.1.3 Immediately after making repairs or adjustments that affect the operation of the force applying system or the values displayed on the load indicating system, except for zero adjustments that compensate for the mass of bearing blocks or specimen, or both, or

5.1.1.4 Whenever there is reason to suspect the accuracy of the indicated loads.

5.1.2 *Design*—The design of the machine must include the following features:

5.1.2.1 The machine must be power operated and must apply the load continuously rather than intermittently, and without shock. If it has only one loading rate (meeting the requirements of 7.5), it must be provided with a supplemental means for loading at a rate suitable for verification. This supplemental means of loading may be power or hand operated.

5.1.2.2 The space provided for test specimens shall be large enough to accommodate, in a readable position, an elastic calibration device which is of sufficient capacity to cover the potential loading range of the testing machine and which complies with the requirements of Practice E74.

NOTE 2—The types of elastic calibration devices most generally available and most commonly used for this purpose are the circular proving ring or load cell.

5.1.3 *Accuracy*—The accuracy of the testing machine shall be in accordance with the following provisions:

5.1.3.1 The percentage of error for the loads within the proposed range of use of the testing machine shall not exceed  $\pm 1.0\%$  of the indicated load.

5.1.3.2 The accuracy of the testing machine shall be verified by applying five test loads in four approximately equal increments in ascending order. The difference between any two successive test loads shall not exceed one third of the difference between the maximum and minimum test loads.

5.1.3.3 The test load as indicated by the testing machine and the applied load computed from the readings of the verification

device shall be recorded at each test point. Calculate the error,  $E$ , and the percentage of error,  $E_p$ , for each point from these data as follows:

$$E = A - B \quad (1)$$

$$E_p = 100(A - B)/B$$

where:

$A$  = load, kN [lbf] indicated by the machine being verified, and

$B$  = applied load, kN [lbf] as determined by the calibrating device.

5.1.3.4 The report on the verification of a testing machine shall state within what loading range it was found to conform to specification requirements rather than reporting a blanket acceptance or rejection. In no case shall the loading range be stated as including loads below the value which is 100 times the smallest change of load estimable on the load-indicating mechanism of the testing machine or loads within that portion of the range below 10% of the maximum range capacity.

5.1.3.5 In no case shall the loading range be stated as including loads outside the range of loads applied during the verification test.

5.1.3.6 The indicated load of a testing machine shall not be corrected either by calculation or by the use of a calibration diagram to obtain values within the required permissible variation.

5.2 The testing machine shall be equipped with two steel bearing blocks with hardened faces (Note 3), one of which is a spherically seated block that will bear on the upper surface of the specimen, and the other a solid block on which the specimen shall rest. Bearing faces of the blocks shall have a minimum dimension at least 3% greater than the diameter of the specimen to be tested. Except for the concentric circles described below, the bearing faces shall not depart from a plane by more than 0.02 mm [0.001 in.] in any 150 mm [6 in.] of blocks 150 mm [6 in.] in diameter or larger, or by more than 0.02 mm [0.001 in.] in the diameter of any smaller block; and new blocks shall be manufactured within one half of this tolerance. When the diameter of the bearing face of the spherically seated block exceeds the diameter of the specimen by more than 13 mm [0.5 in.], concentric circles not more than 0.8 mm [0.03 in.] deep and not more than 1 mm [0.04 in.] wide shall be inscribed to facilitate proper centering.

NOTE 3—It is desirable that the bearing faces of blocks used for compression testing of concrete have a Rockwell hardness of not less than 55 HRC.

5.2.1 Bottom bearing blocks shall conform to the following requirements:

5.2.1.1 The bottom bearing block is specified for the purpose of providing a readily machinable surface for maintenance of the specified surface conditions (Note 4). The top and bottom surfaces shall be parallel to each other. If the testing machine is so designed that the platen itself is readily maintained in the specified surface condition, a bottom block is not required. Its least horizontal dimension shall be at least 3%



**C39/C39M – 14**

greater than the diameter of the specimen to be tested. Concentric circles as described in 5.2 are optional on the bottom block.

NOTE 4—The block may be fastened to the platen of the testing machine.

5.2.1.2 Final centering must be made with reference to the upper spherical block. When the lower bearing block is used to assist in centering the specimen, the center of the concentric rings, when provided, or the center of the block itself must be directly below the center of the spherical head. Provision shall be made on the platen of the machine to assure such a position.

5.2.1.3 The bottom bearing block shall be at least 25 mm [1 in.] thick when new, and at least 22.5 mm [0.9 in.] thick after any resurfacing operations.

5.2.2 The spherically seated bearing block shall conform to the following requirements:

5.2.2.1 The maximum diameter of the bearing face of the suspended spherically seated block shall not exceed the values given below:

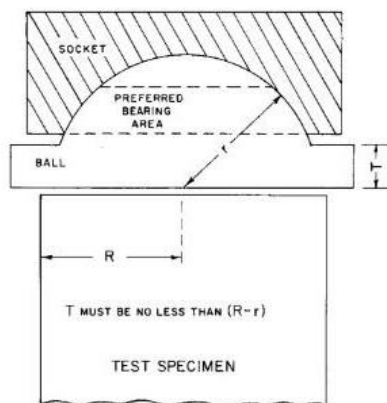
Diameter of Test Specimens, mm [in.]	Maximum Diameter of Bearing Face, mm [in.]
50 [2]	105 [4]
75 [3]	130 [5]
100 [4]	165 [6.5]
150 [6]	255 [10]
200 [8]	280 [11]

NOTE 5—Square bearing faces are permissible, provided the diameter of the largest possible inscribed circle does not exceed the above diameter.

5.2.2.2 The center of the sphere shall coincide with the surface of the bearing face within a tolerance of  $\pm 5\%$  of the radius of the sphere. The diameter of the sphere shall be at least 75 % of the diameter of the specimen to be tested.

5.2.2.3 The ball and the socket shall be designed so that the steel in the contact area does not permanently deform when loaded to the capacity of the testing machine.

NOTE 6—The preferred contact area is in the form of a ring (described as “preferred bearing area”) as shown on Fig. 1.



NOTE 1—Provision shall be made for holding the ball in the socket and for holding the entire unit in the testing machine.

**FIG. 1 Schematic Sketch of a Typical Spherical Bearing Block**

5.2.2.4 At least every six months, or as specified by the manufacturer of the testing machine, clean and lubricate the curved surfaces of the socket and of the spherical portion of the machine. The lubricant shall be a petroleum-type oil such as conventional motor oil or as specified by the manufacturer of the testing machine.

NOTE 7—To ensure uniform seating, the spherically seated head is designed to tilt freely as it comes into contact with the top of the specimen. After contact, further rotation is undesirable. Friction between the socket and the spherical portion of the head provides restraint against further rotation during loading. Petroleum-type oil such as conventional motor oil has been shown to permit the necessary friction to develop. Pressure-type greases can reduce the desired friction and permit undesired rotation of the spherical head and should not be used unless recommended by the manufacturer of the testing machine.

5.2.2.5 If the radius of the sphere is smaller than the radius of the largest specimen to be tested, the portion of the bearing face extending beyond the sphere shall have a thickness not less than the difference between the radius of the sphere and radius of the specimen. The least dimension of the bearing face shall be at least as great as the diameter of the sphere (see Fig. 1).

5.2.2.6 The movable portion of the bearing block shall be held closely in the spherical seat, but the design shall be such that the bearing face can be rotated freely and tilted at least 4° in any direction.

5.2.2.7 If the ball portion of the upper bearing block is a two-piece design composed of a spherical portion and a bearing plate, a mechanical means shall be provided to ensure that the spherical portion is fixed and centered on the bearing plate.

**5.3 Load Indication:**

5.3.1 If the load of a compression machine used in concrete testing is registered on a dial, the dial shall be provided with a graduated scale that is readable to at least the nearest 0.1 % of the full scale load (NOTE 8). The dial shall be readable within 1 % of the indicated load at any given load level within the loading range. In no case shall the loading range of a dial be considered to include loads below the value that is 100 times the smallest change of load that can be read on the scale. The scale shall be provided with a graduation line equal to zero and so numbered. The dial pointer shall be of sufficient length to reach the graduation marks; the width of the end of the pointer shall not exceed the clear distance between the smallest graduations. Each dial shall be equipped with a zero adjustment located outside the dialcase and easily accessible from the front of the machine while observing the zero mark and dial pointer. Each dial shall be equipped with a suitable device that at all times, until reset, will indicate to within 1 % accuracy the maximum load applied to the specimen.

NOTE 8—Readability is considered to be 0.5 mm [0.02 in.] along the arc described by the end of the pointer. Also, one half of a scale interval is readable with reasonable certainty when the spacing on the load indicating mechanism is between 1 mm [0.04 in.] and 2 mm [0.06 in.]. When the spacing is between 2 and 3 mm [0.06 and 0.12 in.], one third of a scale interval is readable with reasonable certainty. When the spacing is 3 mm [0.12 in.] or more, one fourth of a scale interval is readable with reasonable certainty.

5.3.2 If the testing machine load is indicated in digital form, the numerical display must be large enough to be easily read.

## C39/C39M – 14

The numerical increment must be equal to or less than 0.10 % of the full scale load of a given loading range. In no case shall the verified loading range include loads less than the minimum numerical increment multiplied by 100. The accuracy of the indicated load must be within 1.0 % for any value displayed within the verified loading range. Provision must be made for adjusting to indicate true zero at zero load. There shall be provided a maximum load indicator that at all times until reset will indicate within 1 % system accuracy the maximum load applied to the specimen.

5.4 Documentation of the calibration and maintenance of the testing machine shall be in accordance with Practice C1077.

### 6. Specimens

6.1 Specimens shall not be tested if any individual diameter of a cylinder differs from any other diameter of the same cylinder by more than 2 %.

**NOTE 9**—This may occur when single use molds are damaged or deformed during shipment, when flexible single use molds are deformed during molding, or when a core drill deflects or shifts during drilling.

6.2 Prior to testing, neither end of test specimens shall depart from perpendicularity to the axis by more than 0.5° (approximately equivalent to 1 mm in 100 mm [0.12 in. in 12 in.]). The ends of compression test specimens that are not plane within 0.050 mm [0.002 in.] shall be sawed or ground to meet that tolerance, or capped in accordance with either Practice C617 or, when permitted, Practice C1231/C1231M. The diameter used for calculating the cross-sectional area of the test specimen shall be determined to the nearest 0.25 mm [0.01 in.] by averaging two diameters measured at right angles to each other at about midheight of the specimen.

6.3 The number of individual cylinders measured for determination of average diameter is not prohibited from being reduced to one for each ten specimens or three specimens per day, whichever is greater, if all cylinders are known to have been made from a single lot of reusable or single-use molds which consistently produce specimens with average diameters within a range of 0.5 mm [0.02 in.]. When the average diameters do not fall within the range of 0.5 mm [0.02 in.] or when the cylinders are not made from a single lot of molds, each cylinder tested must be measured and the value used in calculation of the unit compressive strength of that specimen. When the diameters are measured at the reduced frequency, the cross-sectional areas of all cylinders tested on that day shall be computed from the average of the diameters of the three or more cylinders representing the group tested that day.

6.4 If the purchaser of the testing services requests measurement of density of test specimens, determine the mass of specimens before capping. Remove any surface moisture with a towel and measure the mass of the specimen using a balance or scale that is accurate to within 0.3 % of the mass being measured. Measure the length of the specimen to the nearest 1 mm [0.05 in.] at three locations spaced evenly around the circumference. Compute the average length and record to the nearest 1 mm [0.05 in.]. Alternatively, determine the cylinder density by weighing the cylinder in air and then submerged

under water at  $23.0 \pm 2.0$  °C [ $73.5 \pm 3.5$  °F], and computing the volume according to 8.3.1.

6.5 When density determination is not required and the length to diameter ratio is less than 1.8 or more than 2.2, measure the length of the specimen to the nearest 0.05 D.

### 7. Procedure

7.1 Compression tests of moist-cured specimens shall be made as soon as practicable after removal from moist storage.

7.2 Test specimens shall be kept moist by any convenient method during the period between removal from moist storage and testing. They shall be tested in the moist condition.

7.3 All test specimens for a given test age shall be broken within the permissible time tolerances prescribed as follows:

Test Age	Permissible Tolerance
24 h	± 0.5 h or 2.1 %
3 days	2 h or 2.8 %
7 days	6 h or 3.6 %
28 days	20 h or 3.0 %
90 days	2 days 2.2 %

7.4 *Placing the Specimen*—Place the plain (lower) bearing block, with its hardened face up, on the table or platen of the testing machine directly under the spherically seated (upper) bearing block. Wipe clean the bearing faces of the upper and lower bearing blocks and of the test specimen and place the test specimen on the lower bearing block. If using unbonded caps, wipe clean the bearing surfaces of the retaining ring or rings and center the unbonded cap or caps on the cylinder. Carefully align the axis of the specimen with the center of thrust of the spherically seated block.

7.4.1 *Zero Verification and Block Seating*—Prior to testing the specimen, verify that the load indicator is set to zero. In cases where the indicator is not properly set to zero, adjust the indicator (**Note 10**). After placing the specimen in the machine but prior to applying the load on the specimen, tilt the movable portion of the spherically seated block gently by hand so that the bearing face appears to be parallel to the top of the test specimen.

**NOTE 10**—The technique used to verify and adjust load indicator to zero will vary depending on the machine manufacturer. Consult your owner's manual or compression machine calibrator for the proper technique.

7.4.2 *Verification of Alignment When Using Unbonded Caps*—If using unbonded caps, verify the alignment of the specimen after application of load, but before reaching 10 % of the anticipated specimen strength. Check to see that the axis of the cylinder does not depart from vertical by more than 0.5° (**Note 11**) and that the ends of the cylinder are centered within the retaining rings. If the cylinder alignment does not meet these requirements, release the load, and carefully recenter the specimen. Reapply load and recheck specimen centering and alignment. A pause in load application to check cylinder alignment is permissible.

**NOTE 11**—An angle of 0.5° is equal to a slope of approximately 1 mm in 100 mm [ $\frac{1}{2}$  inches in 12 inches]

7.5 *Rate of Loading*—Apply the load continuously and without shock.



**ASTM C39/C39M - 14**

7.5.1 The load shall be applied at a rate of movement (platen to crosshead measurement) corresponding to a stress rate on the specimen of  $0.25 \pm 0.05$  MPa/s [ $35 \pm 7$  psi/s] (See Note 12). The designated rate of movement shall be maintained at least during the latter half of the anticipated loading phase.

NOTE 12—For a screw-driven or displacement-controlled testing machine, preliminary testing will be necessary to establish the required rate of movement to achieve the specified stress rate. The required rate of movement will depend on the size of the test specimen, the elastic modulus of the concrete, and the stiffness of the testing machine.

7.5.2 During application of the first half of the anticipated loading phase, a higher rate of loading shall be permitted. The higher loading rate shall be applied in a controlled manner so that the specimen is not subjected to shock loading.

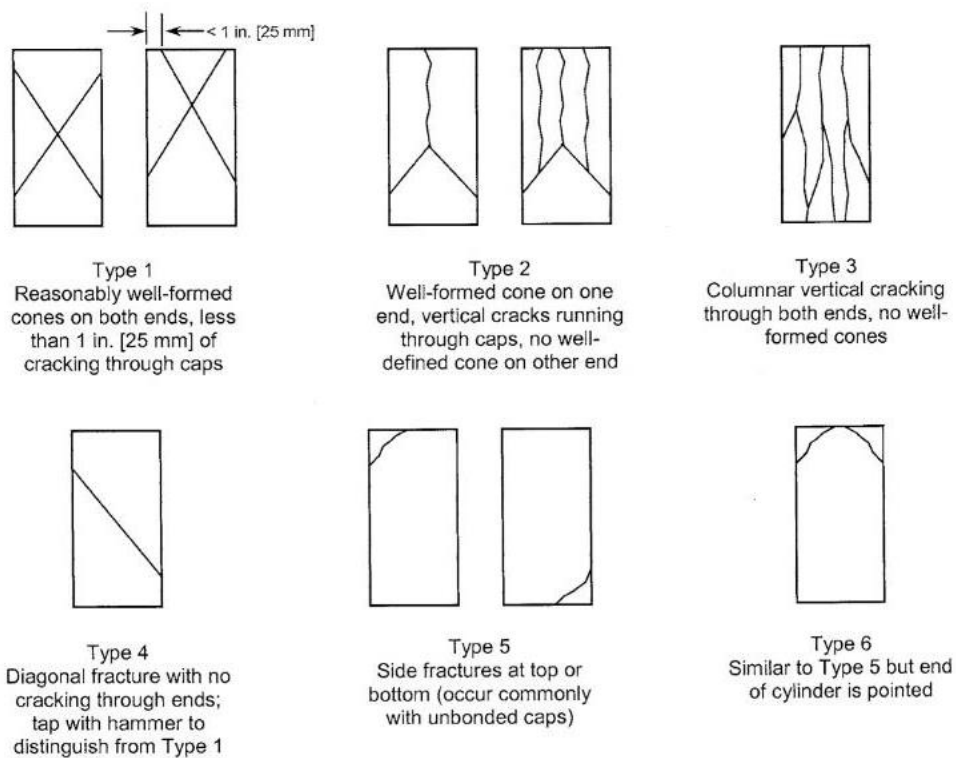
7.5.3 Make no adjustment in the rate of movement (platen to crosshead) as the ultimate load is being approached and the stress rate decreases due to cracking in the specimen.

7.6 Apply the compressive load until the load indicator shows that the load is decreasing steadily and the specimen displays a well-defined fracture pattern (Types 1 to 4 in Fig. 2). For a testing machine equipped with a specimen break detector, automatic shut-off of the testing machine is prohibited until the load has dropped to a value that is less than 95 % of the peak

load. When testing with unbonded caps, a corner fracture similar to a Type 5 or 6 pattern shown in Fig. 2 may occur before the ultimate capacity of the specimen has been attained. Continue compressing the specimen until the user is certain that the ultimate capacity has been attained. Record the maximum load carried by the specimen during the test, and note the type of fracture pattern according to Fig. 2. If the fracture pattern is not one of the typical patterns shown in Fig. 2, sketch and describe briefly the fracture pattern. If the measured strength is lower than expected, examine the fractured concrete and note the presence of large air voids, evidence of segregation, whether fractures pass predominantly around or through the coarse aggregate particles, and verify end preparations were in accordance with Practice C617 or Practice C1231/C1231M.

**8. Calculation**

8.1 Calculate the compressive strength of the specimen by dividing the maximum load carried by the specimen during the test by the average cross-sectional area determined as described in Section 6 and express the result to the nearest 0.1 MPa [10 psi].



**FIG. 2 Schematic of Typical Fracture Patterns**

Copyright by ASTM Int'l (all rights reserved); Mon Mar 3 15:32:50 EST 2014 5  
Downloaded/printed by  
Jose B (INSUMA) pursuant to License Agreement. No further reproductions authorized.

**C39/C39M – 14**

8.2 If the specimen length to diameter ratio is 1.75 or less, correct the result obtained in 8.1 by multiplying by the appropriate correction factor shown in the following table Note 13:

L/D:	1.75	1.50	1.25	1.00
Factor:	0.98	0.96	0.93	0.87

Use interpolation to determine correction factors for L/D values between those given in the table.

NOTE 13—Correction factors depend on various conditions such as moisture condition, strength level, and elastic modulus. Average values are given in the table. These correction factors apply to low-density concrete weighing between 1600 and 1920 kg/m<sup>3</sup> [100 and 120 lb/ft<sup>3</sup>] and to normal-density concrete. They are applicable to concrete dry or soaked at the time of loading and for nominal concrete strengths from 14 to 42 MPa [2000 to 6000 psi]. For strengths higher than 42 MPa [6000 psi] correction factors may be larger than the values listed above<sup>3</sup>.

8.3 When required, calculate the density of the specimen to the nearest 10 kg/m<sup>3</sup> [1 lb/ft<sup>3</sup>] as follows:

$$\text{Density} = \frac{W}{V} \quad (2)$$

where:

- W = mass of specimen, kg [lb], and
- V = volume of specimen computed from the average diameter and average length or from weighing the cylinder in air and submerged, m<sup>3</sup> [ft<sup>3</sup>]

8.3.1 When the volume is determined from submerged weighing, calculate the volume as follows:

$$V = \frac{W - W_s}{\gamma_w} \quad (3)$$

where:

- W<sub>s</sub> = apparent mass of submerged specimen, kg [lb], and
- γ<sub>w</sub> = density of water at 23 °C [73.5 °F] = 997.5 kg/m<sup>3</sup> [62.27 lbs/ft<sup>3</sup>].

## 9. Report

- 9.1 Report the following information:
  - 9.1.1 Identification number,
  - 9.1.2 Average measured diameter (and measured length, if outside the range of 1.8 D to 2.2 D), in millimetres [inches],
  - 9.1.3 Cross-sectional area, in square millimetres [square inches],
  - 9.1.4 Maximum load, in kilonewtons [pounds-force],
  - 9.1.5 Compressive strength calculated to the nearest 0.1 MPa [10 psi],
  - 9.1.6 Type of fracture (see Fig. 2),
  - 9.1.7 Defects in either specimen or caps, and,
  - 9.1.8 Age of specimen.
- 9.1.9 When determined, the density to the nearest 10 kg/m<sup>3</sup> [1 lb/ft<sup>3</sup>].

## 10. Precision and Bias

### 10.1 Precision

<sup>3</sup> Bartlett, F.M. and MacGregor, J.G., "Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strength," *ACI Materials Journal*, Vol. 91, No. 4, July-August, 1994, pp. 339-348.

10.1.1 *Within-Test Precision*—The following table provides the within-test precision of tests of 150 by 300 mm [6 by 12 in.] and 100 by 200 mm [4 by 8 in.] cylinders made from a well-mixed sample of concrete under laboratory conditions and under field conditions (see 10.1.2).

	Coefficient of Variation <sup>4</sup>	Acceptable Range <sup>4</sup> of Individual Cylinder Strengths	
		2 cylinders	3 cylinders
150 by 300 mm [6 by 12 in.]			
Laboratory conditions	2.4 %	6.6 %	7.8 %
Field conditions	2.9 %	8.0 %	9.5 %
100 by 200 mm [4 by 8 in.]			
Laboratory conditions	3.2 %	9.0 %	10.6 %

10.1.2 The within-test coefficient of variation represents the expected variation of measured strength of companion cylinders prepared from the same sample of concrete and tested by one laboratory at the same age. The values given for the within-test coefficient of variation of 150 by 300 mm [6 by 12 in.] cylinders are applicable for compressive strengths between 2000 and 15 to 55 MPa [8000 psi] and those for 100 by 200 mm [4 by 8 in.] cylinders are applicable for compressive strengths between 17 to 32 MPa [2500 and 4700 psi]. The within-test coefficients of variation for 150 by 300 mm [6 by 12 in.] cylinders are derived from CCRL concrete proficiency sample data for laboratory conditions and a collection of 1265 test reports from 225 commercial testing laboratories in 1978.<sup>5</sup> The within-test coefficient of variation of 100 by 200 mm [4 by 8 in.] cylinders are derived from CCRL concrete proficiency sample data for laboratory conditions.

10.1.3 *Multilaboratory Precision*—The multi-laboratory coefficient of variation for compressive strength test results of 150 by 300 mm [6 by 12 in.] cylinders has been found to be 5.0 %<sup>4</sup>; therefore, the results of properly conducted tests by two laboratories on specimens prepared from the same sample of concrete are not expected to differ by more than 14 %<sup>4</sup> of the average (See Note 14). A strength test result is the average of two cylinders tested at the same age.

NOTE 14—The multilaboratory precision does not include variations associated with different operators preparing test specimens from split or independent samples of concrete. These variations are expected to increase the multilaboratory coefficient of variation.

10.1.4 The multilaboratory data were obtained from six separate organized strength testing round robin programs where 150 x 300 mm [6 x 12 in.] cylindrical specimens were prepared at a single location and tested by different laboratories. The range of average strength from these programs was 17.0 to 90 MPa [2500 to 13 000 psi].

NOTE 15—Subcommittee C09.61 will continue to examine recent concrete proficiency sample data and field test data and make revisions to precisions statements when data indicate that they can be extended to cover a wider range of strengths and specimen sizes.

10.2 *Bias*—Since there is no accepted reference material, no statement on bias is being made.

<sup>4</sup> These numbers represent respectively the (1s %) and (d2s %) limits as described in Practice C670.

<sup>5</sup> Supporting data have been filed at ASTM International Headquarters and may be obtained by requesting Research Report RR-C09-1006.





 C39/C39M – 14

SUMMARY OF CHANGES

Committee C09 has identified the location of selected changes to this test method since the last issue, C39/C39M–12a, that may impact the use of this test method. (Approved February 1, 2014)

(1) Modified 7.4.

(2) Added 7.4.2 and Note 11.

Committee C09 has identified the location of selected changes to this test method since the last issue, C39/C39M–12, that may impact the use of this test method. (Approved September 1, 2012)

(1) Revised 5.1.1.1.

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org). Permission rights to photocopy the standard may also be secured from the ASTM website (www.astm.org/COPYRIGHT).*

## Anexo G-4: Método de ensayo normalizado para determinar la tracción por hendimiento (tracción por compresión diametral) de las probetas cilíndricas de hormigón (concreto) (ASTM C496 - 96).

Designación: ASTM C 496 - 96

### Método de Ensayo Normalizado para determinar la tracción por hendimiento de las probetas cilíndricas de hormigón<sup>1</sup>

Esta norma ha sido editada con la designación C 496; el número que sigue inmediatamente a la designación señala su año de adopción original o, en caso de revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de la última aprobación. Una letra epíteto en superíndice (x) señala un cambio editorial desde la última revisión o aprobación.

Esta norma ha sido aprobada para su uso por el Departamento de Defensa.

#### 1. Alcance

1.1 Este método de ensayo intenta determinar la resistencia a la tracción por hendimiento de las probetas cilíndricas de hormigón ya sea en forma de cilindros moldeados o núcleos taladrados.

Nota 1 – Para los métodos de molde de las probetas cilíndricas de hormigón, consulte la Práctica C 192 y C 31. Para los métodos de obtención de los núcleos taladrados, consulte el Método de Ensayo C 42.

1.2 Los valores establecidos en libras por pulgada constituyen la norma.

1.3 Esta norma no se refiere a todas las medidas de seguridad si las hubiera, asociadas con su uso. Es de responsabilidad del usuario de estas normas el establecer las medidas y prácticas de seguridad y salud personal necesarias y determinar la aplicación de las limitaciones reglamentarias con anterioridad a su uso.

#### 2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM:

C 31 Práctica para preparar y curar testigos de hormigón en la obra.<sup>2</sup>

C 39 Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de las muestras cilíndricas de hormigón.<sup>2</sup>

C 42 Método de ensayo para la obtención y ensayo de testigos y vigas aserradas en hormigón.<sup>2</sup>muestras de hormigón en el laboratorio.<sup>2</sup>

C 670 Práctica para la preparación de los informes de precisión y sesgo para los métodos de ensayo de los materiales para la construcción.<sup>2</sup>

#### 3. Resumen

3.1 Este método de ensayo consiste en la aplicación de una fuerza de compresión diametral en el sentido longitudinal de una probeta cilíndrica de hormigón a una velocidad dentro de un rango establecido hasta que se produzca la falla. Esta carga induce a los esfuerzos de tracción sobre el plano que contiene las cargas aplicadas y los esfuerzos de compresión relativamente altos en el área inmediatamente circundante a la carga aplicada.

Ocurren fallas por tracción más que por compresión porque las áreas de aplicación de cargas se encuentran en un estado de compresión triaxial, permitiéndoles así soportar esfuerzos por compresión

mucho mayores de lo que habrían sido indicados por los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión uniaxial.

3.2 Se usan tiras de apoyo de madera terciada delgada de manera que la carga sea aplicada uniformemente a lo largo del cilindro.

3.3 La carga máxima soportada por la probeta es dividida por los factores geométricos adecuados para obtener la resistencia a la tracción por hendimiento.

#### 4. Significado y uso

4.1 La resistencia a la tracción por hendimiento es más simple de determinar que la resistencia a la tracción directa.

4.2 Se usa la resistencia a la tracción por hendimiento para evaluar la resistencia al corte proporcionada por el hormigón en los elementos de hormigón armado con áridos livianos.

#### 6. Aparatos

5.1 **Máquina de ensayo** - La máquina de ensayos debe cumplir con los requisitos del Método de Ensayo C 39 y tener la capacidad suficiente para proporcionar la velocidad de carga descrita en 7.5.

5.2 **Placa o barra de apoyo suplementaria** - Si el diámetro o la dimensión mayor de la placa de apoyo superior o inferior es menor que el cilindro de ensayo, se debe emplear una barra o placa de acero de apoyo suplementario. Las superficies de la placa o barra deben estar ajustadas dentro del rango  $\pm 0,001$  pulg (0,025 mm) de planitud, como se mide cualquier línea de contacto del área de apoyo. Debe tener un ancho de al menos 2 pulg (51 mm) y un espesor de al menos la distancia desde el borde de la placa de apoyo esférica o rectangular hasta el extremo del cilindro. La placa o barra debe ser usada de manera que la carga sea aplicada sobre toda la longitud de la probeta.

<sup>1</sup> Este método de ensayo se encuentra bajo la jurisdicción del Comité C-9 de la ASTM sobre Hormigón y Áridos para hormigón y es de responsabilidad directa del Subcomité C09.01 sobre Ensayos de Hormigón por resistencia.

La presente edición fue aprobada con fecha 10 de enero de 1996. Publicada en marzo de 1996. Originalmente publicada como C 496 - 92. La edición anterior es C 496 - 90.  
<sup>2</sup> Anuario de normas ASTM, Vol. 04.02.

## ASTM C 496

Copyright © ASTM, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2950, United States.

**5.3 Franjas de apoyo** - Se deben proporcionar dos tiras de apoyo de madera terciada de 1/8 pulg (3,2 mm) de espesor, sin imperfecciones, de aproximadamente 1 pulg (25 mm) de ancho por un largo igual o levemente mayor al de la probeta para cada probeta. Las franjas de apoyo deben colocarse entre la probeta y las placas de apoyo superior e inferior de la máquina de ensayo o entre la probeta y las placas o barras suplementarias, si se emplean (véase 5.2). Las franjas de apoyo no deben volver a utilizarse.

## 6. Probetas de ensayo

**6.1** Las probetas de ensayo deben cumplir con las dimensiones, moldeo y curado establecidos en la Práctica C (probetas de obra) o de la Práctica C 192 (probetas de laboratorio). Los núcleos taladrados deben cumplir con los requisitos de tamaño y condiciones de humedad establecidos en el Método de Ensayo C 42. Las probetas curadas por vía húmeda, durante el periodo transcurrido entre la remoción de su ambiente de curado y el ensayo, deben mantenerse húmedos cubriéndolas con una arpillera o paño húmedo, y deben ser ensayadas en condición húmeda en cuanto sea posible.

**6.2** Se debe emplear el siguiente procedimiento de curado en las evaluaciones del hormigón liviano: las probetas ensayadas a los 28 días deben mantenerse en ambiente de aire seco después de ser curadas por vía húmeda durante 7 días, seguidos por 21 días de secado a  $73 \pm 3^\circ\text{F}$  ( $23 \pm 1,7^\circ\text{C}$ ) y una humedad relativa de  $50 \pm 5\%$ .

## 7. Procedimiento

**7.1 Marcación** - Dibuje líneas diametrales en cada extremo de la probeta usando un instrumento adecuado que le asegure que se encuentran en el mismo plano axial (véase Fig. 1, Fig.2 y Nota 2) o como alternativa, use la barra de alineación señalada en la Figura 3 (Nota 3).

**Nota 2** - Las Figuras 1 y 2 muestran el aparato adecuado para dibujar las líneas diametrales en cada extremo en el mismo plano axial de la probeta. El aparato está formado por las tres partes siguientes:

- (1) Un perfil canal de acero de 4 pulg (100 mm) de ancho, cuyos lados han sido nivelados en un mismo plano con la ayuda de una máquina.
- (2) Una sección de barra en T, B, que ha sido renunada para que se ajuste suavemente sobre los lados de la canal y que incluye una ranura rectangular para ensamblar el elemento vertical en la barra T, y
- (3) Una barra vertical, C, con una abertura longitudinal, A, para guiar un lápiz.

La barra T no se sujeta a la canal y se coloca ya sea en el extremo de la canal sin que deteriore la posición de la probeta al marcar las líneas diametrales.

**Nota 3** - En la Figura 4 se muestra el detalle de la barra de alineación de la Fig. 3, para lograr el mismo objetivo al marcar las líneas diametrales. El aparato consiste en:

- (1) Una base para sostener la franja de apoyo inferior y el cilindro.
- (2) Una barra de apoyo suplementaria conforme a los requisitos de la Sección 5 en cuenta a sus dimensiones críticas y planitud, y
- (3) Dos pla derechos que sirven para ubicar el cilindro de ensayo, franjas de apoyo y barra de apoyo suplementaria.

**7.2 Mediciones** - Determine el diámetro de la probeta de ensayo aproximándolo a 0,01 pulg (0,25 mm) más cercano, promediando tres diámetros medidos cerca de los extremos y en el medio de la probeta y en el plano que contiene las dos líneas marcadas en los dos extremos. Determine la longitud de la probeta aproximándola a 0,1 pulg (2,5 mm) más cercano, promediando al menos dos medidas del largo tomadas en el plano que contiene las dos líneas marcadas en los dos extremos.

**7.3 Posicionamiento usando las líneas marcadas diametralmente** - Centre una de las franjas de apoyo a lo largo del centro del bloque inferior de apoyo. Coloque la probeta sobre la franja de apoyo y alinee de manera que las líneas marcadas en los extremos de la probeta se encuentren en forma vertical y centradas sobre la franja de apoyo. Coloque una segunda franja de apoyo a lo largo del cilindro, centrada en las líneas marcadas en los extremos del cilindro. Coloque el dispositivo para asegurar las siguientes condiciones:

**7.3.1** La proyección del plano de las dos líneas marcadas en los extremos de la probeta intersecta el centro de la placa superior de apoyo, y

**7.3.2** La barra o placa de apoyo suplementaria, si se usa, y el centro de la probeta se encuentran directamente bajo el centro de empuje del bloque de apoyo esférico (véase Fig.5).

**7.4 Posicionamiento usando guías de alineación** - Coloque las franjas de apoyo, el cilindro de ensayo y la barra de apoyo suplementaria mediante la guía de alineación ilustrada en la Fig.3 y centre la guía de manera que la barra de apoyo suplementaria y el centro de la probeta se encuentren directamente bajo el centro de empuje del bloque de apoyo esférico.

**7.5 Velocidad de carga** - Aplique la carga de forma continua y sin golpes, a una velocidad constante dentro del rango de 100 a 200 psi/min (689 a 1380 kPa/min) de tracción por hendimiento hasta que ocurra la falla de la probeta (Nota 4). Registre la carga máxima aplicada indicada en la máquina de ensayo en la falla. Anote el tipo de falla y la apariencia del hormigón.

**Nota 4** - La relación entre la tracción por hendimiento y la carga aplicada se aprecia en la Sección 8. El rango de carga requerido en la tracción por hendimiento corresponde a la carga total aplicada en el rango de 11.300 a 22.600 lbf (50 a 100 kN)/min para los cilindros de 6 por 12 pulg (152 x 305 mm).

ASTM C 496

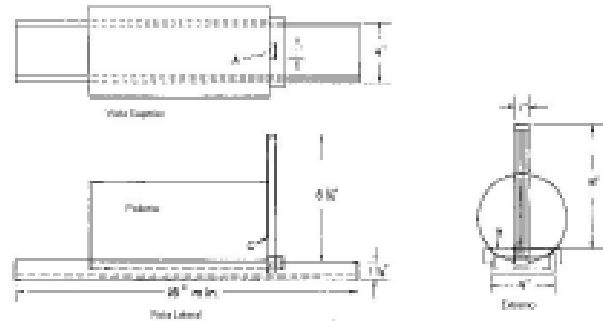


Figura 1 Vista general de los aparatos adecuados para marcar los diámetros en los extremos del cilindro usados para alinear la probeta en la máquina de ensayo.

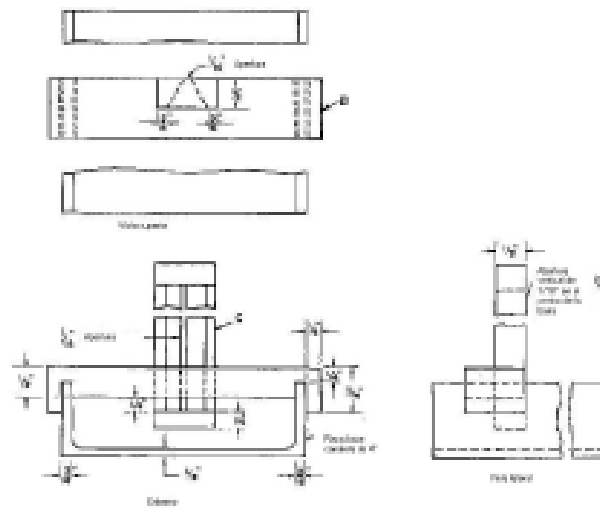


Figura 2 Planos de detalles de un aparato adecuado para marcar los diámetros en los extremos del cilindro, usados para alinear la probeta en la máquina de ensayo.

EQUIVALENCIAS usadas en la Fig. 1, Fig.2 y Fig.3

Pulg	1/16	1/8	3/16	1/4	1/2	3/4	1	1 1/4	2	2 1/2	4	7 1/2	8	8 1/4	15
mm	1,6	3,2	4,8	6,4	13	19	25	32	50	65	100	190	200	205	375

## ASTM C 496

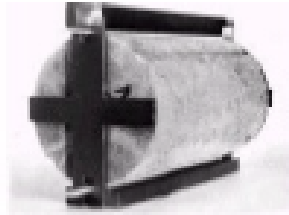


Figura 3 Guías para alinear los cilindros de hormigón y las franjas de apoyo

### 8. Cálculos

8.1 Calcule la resistencia a la tracción por hendimiento de la probeta de la siguiente manera:

$$T = 2 P / l d \quad (1)$$

donde:

T = resistencia a la tracción por hendimiento, psi (kPa)

P = carga máxima aplicada señalada por la máquina de ensayo, lbf (kN)

l = longitud, pulg., (mm),

d = diámetro, pulg., (mm).

### 9. Informe

9.1 Entregue la siguiente información:

9.1.1 Número de identificación

9.1.2 Diámetro y longitud, pulg., (mm)

9.1.3 Carga máxima, lbf (kN)

9.1.4 Resistencia a la tracción por hendimiento calculada aproximada al 5 psi (35 kPa) más cercano

9.1.5 A probeta

9.1.6 Historial de curado

9.1.7 Defectos de la probeta

9.1.8 Tipo de fractura

9.1.9 Tipo de probeta.

### 10. Precisión y sesgo

10.1 Precisión - No se han realizado estudios

más del 14% (véase Nota 5) de su promedio para las resistencias a la tracción por hendimiento de alrededor de 400 psi (2,8 MPa).

Nota 5 - Este número representativo límite (1a %) y (2da %), respectivamente, como se definen en la Práctica C 670.

10.2 Sesgo - Este método de ensayo no tiene sesgo porque la resistencia a la tracción por hendimiento puede ser definida sólo en términos de este método de ensayo.

### 11. Palabras clave

11.1 probeta cilíndrica de hormigón; tracción por hendimiento; resistencia a la tracción.

ASTM C 496

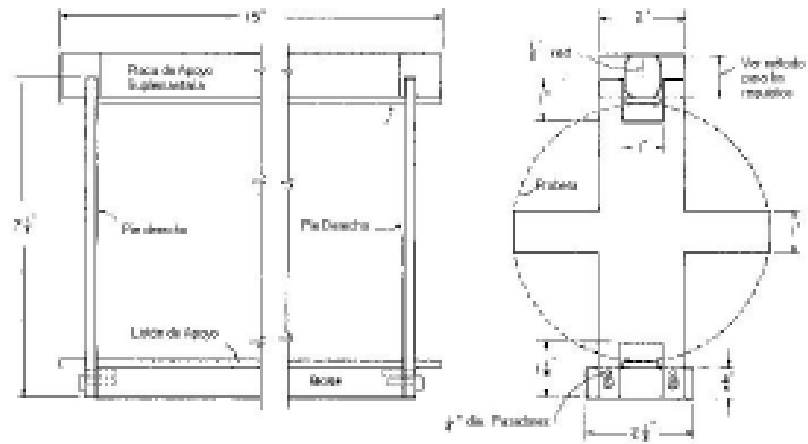
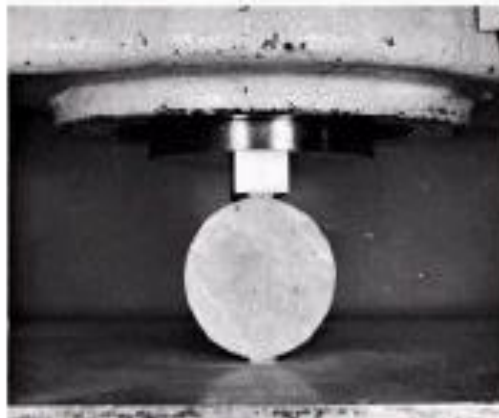


Figura 4 Detalle de los planos para una guía de alineación adecuada

ASTM C 496



**Figura 5** Probeta colocada en la máquina de ensayo para determinar la resistencia a la tracción por hendimiento

*La American Society for Testing and Materials no tiene ninguna posición frente a la validez de cualquier derecho de patente relacionado con cualquiera de los puntos mencionados en esta norma. A los usuarios de esta norma se les advierte expresamente que la determinación de la validez de cualquiera de esos derechos patentados, y el riesgo de infringir esos derechos, son de su entera responsabilidad.*

*Esta norma podrá ser sometida a revisión en cualquier momento por el comité técnico responsable y deberá ser revisada cada cinco años y, en caso de no ser revisada, será reprobada o revocada. La ASTM le invita a expresar sus comentarios ya sea para la revisión de esta norma o para otras normas adicionales, los que deberán dirigirse a las Oficinas Centrales de la ASTM. Sus comentarios serán estudiados cuidadosamente durante una reunión del comité técnico responsable, a la que usted podrá asistir. En caso de que usted encuentre que sus comentarios no fueron atendidos adecuadamente, puede presentar sus consideraciones al Comité de Normas de la ASTM, en la dirección señalada más adelante.*

*Los derechos de esta norma se encuentran reservados por la ASTM, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Se puede obtener reimpresiones (copias únicas o múltiples) de esta norma en la dirección mencionada o en el fono 610-832-9585, en el fax 610-832-9555, en el e-mail [service@astm.org](mailto:service@astm.org) o bien el sitio web de la ASTM ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*



## ANEXO H: PANEL FOTOGRÁFICO



Figura N° 01: Se observa, el traslado de material seleccionado de la cantera Cutimbo



Figura N° 02: Se observa la separación del agregado fino y grueso con el tamiz N° 4.





Figura N° 03: Se observa el cuarteo del agregado grueso.



Figura N° 04: Se observa agregado grueso y fino para análisis granulométrico



Figura N° 05: Se observa el ensayo del peso específico del agregado fino.



Figura N° 06: Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino.



Figura N° 07: Medida de revenimiento de la mezcla de concreto patrón.



Figura N° 08: Curado a temperatura ambiente de briquetas de concreto sustituido parcialmente al cemento por nanosílice.





Figura N° 09: Ensayo de resistencia a la compresión del concreto con sustitución parcial al cemento por nanosílice.



Figura N° 10: Ensayo de resistencia a tracción por compresión diametral del concreto con sustitución parcial al cemento por nanosílice.