UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS

EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024

PRESENTADO POR:

Br. FRAY LUIS CHOCCATA SOTELO

Br. ANDERSON SANTOYO PUCLLA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ASESOR:

Ing. LUZ MARLENE NIETO PALOMINO

CUSCO – PERÚ

2026

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** Ing. Luz Marlene Nieto Palomino quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: Evaluacion del módulo de elasticidad del concreto incorporado con nimetal de nanosilice para pavimentos rígidos, Cusco - 2024

Presentado por: Fray Luis chaccata sotelo DNI N° 71290810;
presentado por: Anderson santoyo Puclla DNI N°: 72627780
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Civil

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 01 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 04 de Setiembre de 2026

Firma

Post firma LUZ MARLENE NIETO PALOMINO

Nro. de DNI 23849232

ORCID del Asesor 0000-0001-6820-2758

Se adjunta: Código OID 27259:620441356

FRAY ANDERSON CHOCCATA SANTOYO

EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPOREDO CON MINERAL DE MICROSILICE PARA PAVI...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:620441356

Fecha de entrega
4 sep 2026, 11:30 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
4 sep 2026, 11:48 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPOREDO CON MINERAL DE M....pdf

Tamaño del archivo
24.5 MB

341 páginas

75.473 palabras

378.712 caracteres

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 30 palabras)

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
95 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Texto oculto
3 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Tabla de contenido

Índice de fotografías ..... **XIII**

Índice de gráficos ..... **XV**

Índice de planos ..... **XIX**

Presentación ..... **XX**

Dedicatoria ..... **XXI**

Agradecimiento ..... **XXII**

Resumen ..... **XXIII**

Abstract ..... **XXIV**

Introducción **1**

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN **3**

1.1. Planteamiento del problema 3

1.2. Formulación de Problemas 3

1.2.1. Problema General 3

1.3.2. Problemas Específicos 3

1.3. Justificación 4

1.3.1. Justificación Teórica 4

1.3.2. Justificación Práctica 4

1.3.3. Justificación Social 4

1.4. Objetivos de la investigación 5

1.4.1. Objetivo General 5

1.4.2. Objetivos Específicos 5

1.5. Hipótesis 5

1.5.1. Hipótesis General 5

1.5.2. Hipótesis Específicas 5

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO **6**

2.1. Antecedentes de la Investigación 6

2.1.1. Antecedentes Internacionales 6

2.1.2. Antecedentes Nacionales 7

2.2. Bases Teóricas 8
2.2.1. Módulo de elasticidad 8
2.2.1.1. Fórmula Empírica para Estimar el Módulo de Elasticidad 8
2.2.1.2. Determinación Experimental del Módulo de Elasticidad en Vigas 9
2.2.2. Pavimento rígido 9
2.2.2.1. Influencia del módulo de elasticidad del concreto en el comportamiento estructural del pavimento rígido 10
2.2.3. Concreto 10
2.2.3.1. Componentes del concreto 10
2.2.3.1.1. Cemento 11
2.2.3.1.2. Agregados 12
2.2.3.1.3. Agua 13
2.2.3.1.4. Aditivo 14
2.3. Marco conceptual 16
2.3.1. Design Expert 16

CAPITULO III: METODOLOGÍA 17

3.1. Variables 17
3.1.1. Identificación de variables 17
3.1.1.1. Variable Independiente 17
3.1.1.2. Variable Dependiente 17
3.1.2. Operacionalización de variables 17
3.2. Alcance de estudio 18
3.2.1. Alcance exploratorio 18
3.2.2. Alcance descriptivo 18
3.2.3. Alcance correlacional 18
3.2.4. Alcance explicativo 18
3.3. Metodología de Investigación 19
3.3.1. Tipo de investigación 19
3.3.2. Nivel de investigación 19
3.3.3. Diseño de la investigación 19
3.3.4. Enfoque de investigación 20
3.4. Población y muestra 20
3.4.1. Población 20
3.4.2. Muestra 20
3.4.3. Tamaño Muestral 20
3.5. Técnica e instrumentos de recolección y análisis de datos 22

3.5.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 22
3.5.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos 22
3.6. Desarrollo de la tesis 23
3.6.1. Selección de materiales 23
3.6.1.1. Método extracción y preparación de las muestras (NTP 400.010-20) 23
3.6.1.2. Método para reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayos (NTP 400.043-15) 24
3.7. Características de los agregados 25
3.7.1. Agregado grueso 25
3.7.1.2. Análisis granulométrico del agregado grueso 26
3.7.1.3. Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso. 28
3.7.1.4. Determinación del peso unitario y los vacíos del agregado grueso. 30
3.7.1.5. Determinación de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 por el método de lavado. 33
3.7.1.6. Resistencia al desgaste del agregado grueso, por abrasión e impacto, por medio de la máquina de Los Ángeles. 35
3.7.1.7. Determinación del contenido de humedad del agregado grueso. 37
3.7.2. Agregado fino 38
3.7.2.1. Análisis granulométrico del agregado fino. 39
3.7.2.2. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino. 40
3.7.2.3. Determinación del peso unitario y los vacíos del agregado fino. 42
3.7.2.4. Determinación de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 por el método de lavado. 46
3.7.2.5. Determinación del contenido de humedad del agregado fino. 48
3.8. Diseño de mezclas de concreto 49
3.8.1. Metodología de diseño ACI 211.1-22 50
3.9. Proceso de mezclado del concreto 53
3.10. Ensayos del concreto en estado fresco 54
3.10.1. Método de ensayo para medir el asentamiento del concreto 54
3.11. Ensayos del concreto en estado endurecido. 54
3.11.1. Practica para la preparación y curado de especímenes de concreto (NTP 339.183-18). . 54
3.11.2. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034-21) 55
3.11.3. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto para vigas simplemente apoyadas con cargas en los tercios del tramo (NTP 339.078-22). 57
3.11.4. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático del concreto (ASTM C469-22). 58

CAPITULO IV: RESULTADOS 61

4.1. Resultados de las características físico-mecánicas de los agregados 61

4.1.1. Características del agregado grueso (cantera de vicho) 61

4.1.1.1. Determinación de la Cantidad de Material Fino que pasa el Tamiz de 75µm N°200(%) por lavado (NTP 400.018-20) 61

4.1.1.2 Análisis granulométrico del agregado grueso (NTP 400.012-21) 62

4.1.1.3. Determinación del Contenido de Humedad del Agregado Grueso (NTP 339.185-21) 63

4.1.1.4 Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.022-21) 64

4.1.1.5 Determinación del peso unitario y vacíos del agregado grueso (NTP 400.017-20) 64

4.1.1.6. Determinación de la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles 66

4.1.2. Características del Agregado Fino (Cantera de Cunyac) 67

4.1.2.1. Determinación de la Cantidad de Material Fino que pasa el Tamiz de 75µm N°200(%) por lavado (NTP 400.018-20) 67

4.1.2.2. Análisis granulométrico del agregado fino (NTP 400.012-21) 68

4.1.2.3. Determinación del Contenido de Humedad del Agregado Grueso (NTP 339.185-21) 69

4.1.2.4. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022-21) 70

4.1.2.5. Determinación del peso unitario y vacíos del agregado fino (NTP 400.017-20) 70

4.2. Diseño de mezcla del concreto 72

4.2.1. Diseño de mezcla del concreto patrón según el método ACI 211.1-22 72

4.2.1.1. Diseño de mezcla del concreto de relación a/c=0,60 73

4.2.1.2. Diseño de mezcla del concreto de relación a/c=0,50 75

4.2.1.3. Diseño de mezcla del concreto de relación a/c=0.40 78

4.2.1.4. Diseño de mezclas 81

4.3. Ensayos en el concreto 83

4.3.1. Ensayos de concreto en estado fresco 83

4.3.1.1. Resultados del ensayo de revenimiento o asentamiento 83

4.3.2. Ensayo de concreto endurecido 83

4.3.2.1. Resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas de concreto 83

4.3.2.2. Resultados del ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto 86

4.3.2.3. Resultados del módulo de elasticidad experimental mediante el ensayo de resistencia a flexión de las probetas prismáticas de concreto 89

4.3.2.4. Resultados del módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico 92

..... 94

4.4. Resultados de los especímenes del diseño óptimo aplicado en obra 95
4.4.1. Ensayo en concreto fresco en obra 95
4.4.1.1. Resultados del ensayo de revenimiento de obra 95
4.4.2. Ensayo del concreto endurecido de obra 95
4.4.2.1. Resultados del ensayo de compresión de las probetas cilíndricas de obra 95
4.4.2.2. Resultados del ensayo de resistencia a flexión de las probetas prismáticas de obra ... 95
4.4.2.3. Resultados del ensayo de módulo de elasticidad estático de las probetas cilíndricas de obra 95
4.5. Resultados e interpretación del proceso estadístico 97

CAPITULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 106

5.1. Análisis y discusión sobre la caracterización de los agregados 106
5.2. Análisis y discusión sobre los diseños de mezcla 107
5.3. Análisis y discusión del ensayo de resistencia a compresión 107
5.4. Análisis y discusión sobre calculo experimental del módulo de elasticidad mediante la resistencia a flexión 111
5.5. Análisis y discusión del módulo de elasticidad estático del concreto 112
5.6. Análisis y discusión del diseño más óptimo 114
5.7. Análisis y discusión sobre el diseño óptimo aplicado a pie de obra 114
5.8. Análisis y discusión sobre costos 114
5.9. Análisis y discusión de los resultados respecto a los antecedentes 116
5.10. Análisis y discusión de las resistencias previstas y obtenidas experimentalmente 117
5.11. Análisis y discusión sobre la comparación del módulo de elasticidad estático y empírico en función de la resistencia a compresión 117

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 121

6.1. Conclusiones 121
6.2. Recomendaciones 122

Bibliografía 124

Anexos 125

Índice de anexos

Anexo 1. Codificación y año de las normativas utilizadas. 125
Anexo 2. Planos de ubicación. 126
Anexo 3. Procesamiento de datos de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 del agregado grueso. 129
Anexo 4. Procesamiento de datos del análisis granulométrico del agregado grueso. 130
Anexo 5. Procesamiento de dato del contenido de humedad del agregado fino. 131
Anexo 6. Procesamiento de datos del peso específico del agregado grueso. 132
Anexo 7. Procesamiento de datos del peso unitario y porcentajes de vacíos del agregado grueso. ... 133
Anexo 8. Procesamiento de datos del peso unitario varillado y porcentaje de vacíos del agregado grueso. 134
Anexo 9. Procesamiento de datos de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 del agregado fino. 135
Anexo 10. Procesamiento de datos del ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles. 136
Anexo 11. Procesamiento de datos del análisis granulométrico del agregado fino. 137
Anexo 12. Procesamiento de datos del contenido de humedad del agregado fino. 138
Anexo 13. Procesamiento de datos del peso específico y absorción del agregado fino. 139
Anexo 14. Procesamiento de datos del peso unitario suelto y porcentajes de vacíos del agregado fino. 140
Anexo 15. Procesamiento de datos del peso unitario varillado y porcentaje de vacíos del agregado fino. 141
Anexo 16. Diseño de concreto sin mineral de microsílice. 142
Anexo 17. Diseño de concreto con mineral de microsílice. 145
Anexo 18. Lineamientos normativos para el ensayo de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas. 148
Anexo 19. Resumen de resultados del ensayo de compresión de probetas cilíndricas. 149
Anexo 20. Procesamiento de datos del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas. 150
Anexo 21. Ensayo a flexión 166
Anexo 22. Ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto. 168
Anexo 23. Procesamiento de datos del ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático. 169
Anexo 24. Resumen de resultados del módulo de elasticidad de las muestras prismáticas de concreto. 265
Anexo 25. Matriz de consistencia. 266
Anexo 26. Análisis de costos unitarios de los 15 diseños de concreto. 267
Anexo 27. Ficha técnica del cemento sol. 275
Anexo 28. Ficha técnica del mineral de microsílice (sika fume). 277

Anexo 29. Fotografías tomadas durante la realización de los ensayos. 279
Anexo 30. Fichas de laboratorio de la UNSAAC. 302
Anexo 31 Fichas de laboratorio de la Universidad Andina del Cusco. 306
Anexo 32. Certificado de calibración de la maquina universal. 311
Anexo 33. Certificado de calibración de la máquina de compresión para muestras de concreto. 313
Anexo 34. Certificado de laboratorio de la Universidad Andina del Cusco. 316
Anexo 35. Certificado de laboratorio suelos de la UNSAAC. 317

Índice de tablas

Tabla 1 Tipos de cementos según el uso. 12
Tabla 2 Tipos de aditivos según la necesidad del concreto. 15
Tabla 3 Operacionalización de variables 17
Tabla 4 Número de especímenes 21
Tabla 5 Medidas de las muestras. 24
Tabla 6 Ensayos realizados en el agregado grueso. 26
Tabla 7 Cantidades mínimas de muestra de agregado grueso. 27
Tabla 8 Cantidades mínimas de muestras para el ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso. 29
Tabla 9 Cantidad mínima de muestra requerida según el tamaño máximo nominal. 34
Tabla 10 Distribución de masa de la muestra por intervalos de tamiz según gradación. 36
Tabla 11 Masa mínima requerida de la muestra del agregado. 37
Tabla 12 Ensayos realizados en el agregado fino. 38
Tabla 13 Cantidad mínima de muestra requerida según el tamaño máximo nominal. 46
Tabla 14 Masa mínima requerida de la muestra del agregado. 48
Tabla 15 Rango recomendado de asentamiento (slump) según el tipo de elemento estructural. 50
Tabla 16 Contenido aproximado de agua y aire para mezclas de concreto. 51
Tabla 17 Cálculo de agregado grueso por metro cuadrado. 52
Tabla 18 Tolerancias admisibles en función de la edad del ensayo. 56
Tabla 19 Factores de corrección en función de la relación L/D del espécimen. 57
Tabla 20 Resultados de los ensayos del Agregado Grueso. 61
Tabla 21 Cantidad de material fino del agregado grueso que pasa por el tamiz N°200. 62
Tabla 22 Registro y presentación de los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso. 62
Tabla 23 Registro y presentación de los resultados del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso. 63
Tabla 24 Registro y presentación de resultados del ensayo del peso específico y de absorción del agregado grueso. 64

Tabla 25 Registro y presentación de resultados del ensayo de peso unitario suelto y porcentaje de vacíos suelto del agregado grueso. 65
Tabla 26 Registro y presentación de resultados del ensayo del peso unitario varillado y porcentaje de vacíos del agregado grueso. 66
Tabla 27 Registro y presentación del cálculo del desgaste del agregado grueso. 67
Tabla 28 Resultado de los ensayos del agregado fino. 67
Tabla 29 Cantidad de material fino del agregado fino que pasa por el tamiz N°200. 68
Tabla 30 Registro y presentación de los resultados del análisis granulométrico del agregado fino. ... 68
Tabla 31 Registro y presentación de los resultados del ensayo de contenido de humedad del agregado fino. 69
Tabla 32 Registro y presentación de resultados del ensayo del peso específico y de absorción del agregado fino. 70
Tabla 33 Registro y presentación de resultados del ensayo de peso unitario suelto y porcentaje de vacíos suelto del agregado fino. 71
Tabla 34 Registro y presentación de resultados del ensayo del peso unitario varillado y porcentaje de vacíos del agregado fino. 71
Tabla 35 Se presentan los códigos asignados a cada diseño de mezcla. 72
Tabla 36 Datos generales del diseño de mezcla de relación a/c=0,60. 73
Tabla 37 Características físico-mecánicas de los componentes del diseño de mezcla. 73
Tabla 38 Desarrollo del diseño de mezcla patrón de relación a/c=0,60 74
Tabla 39: Dosificación del concreto patrón de relación a/c=0,60. 75
Tabla 40 Datos generales del diseño de mezcla de relación a/c=0,50. 75
Tabla 41 Características físico-mecánicas de los componentes del diseño de mezcla. 76
Tabla 42 Desarrollo del diseño de mezcla patrón de relación a/c=0,50. 77
Tabla 43 Dosificación del concreto patrón de relación a/c=0,50. 78
Tabla 44 Datos generales del diseño de mezcla de relación a/c=0,40. 78
Tabla 45 Características físico-mecánicas de los componentes del diseño de mezcla. 79
Tabla 46 Desarrollo del diseño de mezcla patrón de relación a/c=0,40. 80
Tabla 47 Dosificación del concreto patrón de relación a/c=0.40. 81
Tabla 48 Diseños de mezcla por un metro cubico de concreto. 82
Tabla 49 Medida de asentamiento del concreto. 83
Tabla 50 Resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas. 84
Tabla 51 Resultados del módulo de elasticidad estático de las probetas cilíndricas. 87
Tabla 52 Resultados del ensayo de resistencia a flexión de las probetas prismáticas. 90
Tabla 53 Comparación del módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico. 92
Tabla 54 Resultado del revenimiento de la mezcla del diseño óptimo en obra. 95
Tabla 55 Resultados del ensayo de compresión de las probetas cilíndricas a pie de obra. 96

Tabla 56 Resultados del ensayo a flexión de las probetas prismáticas a pie de obra. 96
Tabla 57 Resultados del módulo de elasticidad estático de las probetas cilíndricas a pie de obra. 96
Tabla 58 Resumen de ajuste (Fit Summary) y selección del modelo. 97
Tabla 59 Estadísticos de resumen del modelo (Model Summary Statistics). 97
Tabla 60 Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit Tests). 98
Tabla 61 ANOVA del modelo cuadrático para la respuesta R1 (transformación de potencia $\lambda = -1.75$). 98
Tabla 62 Estadísticos de ajuste (Fit Statistics) del modelo cuadrático. 99
Tabla 63 Resultados de optimización numérica (soluciones con mayor deseabilidad). 104
Tabla 64 Datos observados y resumen de confirmación en el punto óptimo (A = 0,40; B = 10%). .. 105
Tabla 65 Resistencias previstas y obtenidas experimentalmente. 117
Tabla 66. Resumen de resultados del módulo de elasticidad mediante el ensayo de flexión. 167
Tabla 67. Resumen de resultados del ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto. 168
Tabla 68. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%. 169
Tabla 69. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%. 171
Tabla 70. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%. 173
Tabla 71. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%. 175
Tabla 72. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%. 177
Tabla 73. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%. 179
Tabla 74. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%. 181
Tabla 75. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%. 183
Tabla 76. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%. 185
Tabla 77. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%. 187
Tabla 78. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%. 189
Tabla 79. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%. 191

Tabla 80. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%. 193
Tabla 81. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%. 195
Tabla 82. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%. 197
Tabla 83. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 199
Tabla 84. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 201
Tabla 85. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 203
Tabla 86. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%. 205
Tabla 87. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%. 207
Tabla 88. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%. 209
Tabla 89. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%. 211
Tabla 90. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%. 213
Tabla 91. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 215
Tabla 92. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%. 217
Tabla 93. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%. 219
Tabla 94. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%. 221
Tabla 95. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%. 223
Tabla 96. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%. 225
Tabla 97. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 227

Tabla 98. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%. 229
Tabla 99. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%. 231
Tabla 100. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%. 233
Tabla 101. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%. 235
Tabla 102. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%. 237
Tabla 103. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%. 239
Tabla 104. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%. 241
Tabla 105. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%. 243
Tabla 106. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%. 245
Tabla 107. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%. 247
Tabla 108. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%. 249
Tabla 109. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%. 251
Tabla 110. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 253
Tabla 111. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 255
Tabla 112. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 257
Tabla 113. Primer ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 259
Tabla 114. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 261
Tabla 115. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 263
Tabla 116. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%. 267

Tabla 117. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 267
Tabla 118. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%. 268
Tabla 119. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%. 268
Tabla 120. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%. 269
Tabla 121. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%. 269
Tabla 122. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%. 270
Tabla 123. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%. 270
Tabla 124. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%. 271
Tabla 125. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%. 271
Tabla 126. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%. 272
Tabla 127. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%. 272
Tabla 128. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. ... 273
Tabla 129. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%. ... 273
Tabla 130. Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%. ... 274

Índice de figuras

Figura 1 Cuarteo de agregados. 25
Figura 2 Tipos de fractura en cilindros de concreto al someterse a compresión. 56
Figura 3 Compresometro utilizado para el ensayo del módulo de elasticidad. 59

Índice de fotografías

Fotografía 1 Presentación del agregado grueso según su tamaño. 28
Fotografía 2 Registro del peso del agregado grueso fuera y dentro del agua. 30
Fotografía 3 Registro de peso del molde más la muestra del peso unitario suelto. 32
Fotografía 4 Registro de peso del molde más la muestra del peso unitario compactado. 33
Fotografía 5 Lavado de agregado mediante la malla 200. 35
Fotografía 6 Presentación del agregado fino según su tamaño. 40
Fotografía 7 Preparación y registro del peso de la muestra. 42
Fotografía 8 Llenado del picnómetro con muestra y agua, y registro de su peso. 42
Fotografía 9 Molde de metal con agregado fino suelto. 44
Fotografía 10 Registro de peso del molde más la muestra del peso unitario suelto. 44
Fotografía 11 Molde de metal con agregado fino compactado. 45
Fotografía 12 Registro de peso del molde más la muestra del peso unitario compactado. 45
Fotografía 13 Lavado del material fino y registro del peso del material que queda. 47
Fotografía 14. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%. 226
Fotografía 15. Compra de los agregados fino y grueso. 279

Fotografía 16. Compra del mineral de microsílice. 279
Fotografía 17. Tamizado del agregado grueso. 280
Fotografía 18. Tamizado del agregado fino. 280
Fotografía 19. Cuarteo del agregado grueso. 281
Fotografía 20. Proceso de cuarteo del agregado grueso. 281
Fotografía 21. Ensayo de granulometría del agregado grueso. 282
Fotografía 22. Clasificación del agregado grueso según su granulometría. 282
Fotografía 23. Preparación del agregado fino para el ensayo de peso específico. 283
Fotografía 24. Ensayo de peso específico del agregado grueso. 283
Fotografía 25. Ensayo de peso unitario de agregado fino. 284
Fotografía 26. Cálculo del peso de Proctor con el agregado fino. 284
Fotografía 27. Clasificación del agregado fino según su granulometría. 285
Fotografía 28. Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso. 285
Fotografía 29. Cálculo del peso sumergido del agregado grueso. 286
Fotografía 30. Cálculo del peso del agregado grueso superficialmente seco. 286
Fotografía 31. Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60. 287
Fotografía 32. Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,50. 287
Fotografía 33. Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,40. 288
Fotografía 34. Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60 y microsílice=4%. 288
Fotografía 35. Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60 y microsílice=6%. 289
Fotografía 36. Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60 y microsílice=8%. 289
Fotografía 37. Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60 y microsílice=10%. 290
Fotografía 38. Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,50 y microsílice=4%. 290
Fotografía 39. Curado de las viguetas de concreto. 291
Fotografía 40. Curado de las briquetas de concreto. 291
Fotografía 41. Verificación del curado de las muestras. 292
Fotografía 42. Pozo de curado de las muestras de concreto. 292
Fotografía 43. Ensayo a flexión de las viguetas a/c=0,60. 293
Fotografía 44. Ensayo a flexión de las viguetas a/c=0,50. 293
Fotografía 45. Ensayo a flexión de las viguetas a/c=0,40. 294
Fotografía 46. Ensayo a flexión de las viguetas a/c=0,60 y con microsílice. 294
Fotografía 47. Manejo de la máquina de compresión para el ensayo del módulo de elasticidad. 295
Fotografía 48. Grabación de los deformímetros. 295
Fotografía 49. Evidencia del ensayo del módulo de elasticidad. 296
Fotografía 50. Briqueta cilíndrica al 40% de compresión. 296
Fotografía 51. Rotura de briquetas a/c-0,60. 297
Fotografía 52. Rotura de briquetas a/c-0,50. 297

Fotografía 53. Rotura de briquetas a/c-0,40. 298
Fotografía 54. Rotura de la vigueta cuando fue sometido a flexión. 298
Fotografía 55. Preparación de materiales e instrumentos en obra. 299
Fotografía 56. Vertido del concreto en obra. 299
Fotografía 57 Slump de 1,6 pulgadas para un concreto de relación a/c=0.60 y microsílice=10%. .. 300
Fotografía 58 Slump de 3,3 pulgadas para un concreto de relación a/c=0.60 y microsílice=6%. 300
Fotografía 59 Slump de 1,8 pulgadas para un concreto de relación a/c=0.40 y microsílice=8%. 301
Fotografía 60 Slump de 5,4 pulgadas para un concreto de relación a/c=0.60 y microsílice=0%. 301
Fotografía 61. Ficha para realizar el tamizado del agregado. 302
Fotografía 62. Ficha de laboratorio para el preparado de concreto. 303
Fotografía 63. Ficha de laboratorio para el ensayo de peso unitario. 304
Fotografía 64. Ficha para ensayos de peso específico del agregado grueso y fino. 305
Fotografía 65. Primera ficha del ensayo del módulo de elasticidad. 306
Fotografía 66. Segunda ficha del ensayo del módulo de elasticidad. 307
Fotografía 67. Tercera ficha del ensayo del módulo de elasticidad. 308
Fotografía 68. Cuarta ficha del ensayo del módulo de elasticidad. 309
Fotografía 69. Primera ficha del ensayo del módulo de elasticidad. 310

Índice de gráficos

Gráfico 1 Proporciones típicas en volumen de los componentes del concreto. 11
Gráfico 2 Diagrama secuencial para determinar la granulometría del agregado grueso. 27
Gráfico 3 Diagrama secuencial para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso. 29
Gráfico 4 Diagrama secuencial para determinar el peso unitario suelto del agregado grueso. 31
Gráfico 5 Diagrama secuencial para determinar el peso unitario compactado del agregado grueso. .. 32
Gráfico 6 Diagrama secuencial para determinar la cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200 del agregado grueso. 34
Gráfico 7 Diagrama secuencial para determinar el desgaste del agregado grueso mediante la máquina de los ángeles. 36
Gráfico 8 Diagrama secuencial para determinar el contenido de humedad del agregado grueso. 38
Gráfico 9 Diagrama secuencial para determinar la granulometría del agregado fino. 39
Gráfico 10 Diagrama secuencial para determinar el peso específico y absorción del agregado fino. . 41
Gráfico 11 Diagrama secuencial para determinar el peso unitario suelto del agregado fino. 43
Gráfico 12 Diagrama secuencial para determinar el peso unitario compactado del agregado fino. 44
Gráfico 13 Diagrama secuencial para determinar la cantidad de material que asa por el tamiz N° 200 del agregado fino. 47
Gráfico 14 Diagrama secuencial para determinar el contenido de humedad del agregado fino. 49

Gráfico 15 Curva granulométrica del agregado grueso. 63
Gráfico 16 Curva granulométrica del agregado fino. 69
Gráfico 17 Módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico para relación a/c=0,60 93
Gráfico 18 Módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico para relación a/c=0,50. 94
Gráfico 19 Módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico para relación a/c=0,40. 94
Gráfico 20 Valores predichos vs. valores observados (Predicted vs. Actual). 100
Gráfico 21 Gráfico normal de residuos (Normal Plot of Residuals). 100
Gráfico 22 Residuos vs. predicción (Residuals vs. Predicted). 101
Gráfico 23 Residuos vs. corrida (Residuals vs. Run) y estadístico Durbin–Watson. 101
Gráfico 24 Distancia de Cook (Cook's Distance) para identificar puntos influyentes. 102
Gráfico 25 Leverage vs. Run para evaluar observaciones de alta palanca. 102
Gráfico 26 Mapa de contorno del módulo de elasticidad (kgf/cm²) en función de A y B. 103
Gráfico 27 Superficie 3D del módulo de elasticidad (kgf/cm²) en función de A y B. 104
Gráfico 28 Gráfica del incremento de la resistencia a compresión según la cantidad de microsílice reemplazada con una relación (a/c=0,60). 108
Gráfico 29 Gráfica del incremento de la resistencia a compresión según la cantidad de microsílice reemplazada con una relación (a/c=0,50). 109
Gráfico 30 Gráfica del incremento de la resistencia a compresión según la cantidad de microsílice reemplazada con una relación (a/c=0,40). 109
Gráfico 31 Incremento de la resistencia a la compresión en función a la cantidad de microsílice añadida. 111
Gráfico 32 Variación del módulo de elasticidad experimental del concreto sometido a flexión según el porcentaje de microsílice y la relación a/c. 112
Gráfico 33 Variación del módulo de elasticidad estático del concreto en función del porcentaje de microsílice y la relación agua/cemento. 113
Gráfico 34 Comparación de costos según cada diseño. 115
Gráfico 35 Comparación del módulo de elasticidad estático y empírico en función de la resistencia a compresión para una relación a/c=0,60. 117
Gráfico 36 Comparación del módulo de elasticidad estático y empírico en función de la resistencia a compresión para una relación a/c=0,50. 119
Gráfico 37 Comparación del módulo de elasticidad estático y empírico en función de la resistencia a compresión para una relación a/c=0,40. 120
Gráfico 38. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%. 170

Gráfico 39. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%. 172
Gráfico 40. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%. 174
Gráfico 41. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%. 176
Gráfico 42. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%. 178
Gráfico 43. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%. 180
Gráfico 44. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%. 182
Gráfico 45. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%. 184
Gráfico 46. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%. 186
Gráfico 47. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%. 188
Gráfico 48. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%. 190
Gráfico 49. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%. 192
Gráfico 50. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%. 194
Gráfico 51. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%. 196
Gráfico 52. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%. 198
Gráfico 53. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 200
Gráfico 54. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 202
Gráfico 55. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 204
Gráfico 56. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%. 206

Gráfico 57. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%. 208
Gráfico 58. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%. 210
Gráfico 59. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%. 212
Gráfico 60. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%. 214
Gráfico 61. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 216
Gráfico 62. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%. 218
Gráfico 63. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%. 220
Gráfico 64. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%. 222
Gráfico 65. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%. 224
Gráfico 66. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%. 228
Gráfico 67. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%. 230
Gráfico 68. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%. 232
Gráfico 69. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%. 234
Gráfico 70. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%. 236
Gráfico 71. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%. 238
Gráfico 72. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%. 240
Gráfico 73. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%. 242
Gráfico 74. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%. 244

Gráfico 75. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%. 246
Gráfico 76. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%. 248
Gráfico 77. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%. 250
Gráfico 78. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%. 252
Gráfico 79. Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 254
Gráfico 80. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 256
Gráfico 81. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 258
Gráfico 82. Primer ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 260
Gráfico 83. Segundo ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 262
Gráfico 84. Tercer ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%. 264

Índice de planos

Plano 1. Plano de ubicación de la cantera de Cunyac. 126
Plano 2. Plano de ubicación de la cantera de Vicho. 127
Plano 3. Plano de ubicación de la obra donde se hizo la prueba en campo. 128

Presentación

Señor Decano de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores miembros del jurado:

Con el propósito de solicitar la obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil y de conformidad con el reglamento de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, es grato dirigirnos a ustedes para presentar el trabajo de investigación titulado:

"Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimentos rígidos, Cusco – 2024".

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la influencia de la incorporación del mineral de microsílice en el módulo de elasticidad del concreto, considerando diferentes porcentajes de adición y relaciones agua/cemento, con la finalidad de analizar su comportamiento mecánico frente a esfuerzos de compresión y flexión. El estudio busca determinar cómo varía el comportamiento estructural del concreto al variar estas variables, especialmente el módulo de elasticidad que influye bastante en pavimentos rígidos.

Finalmente, se espera que los resultados de esta investigación contribuyan como referencia técnica para el diseño y aplicación de concretos modificados con microsílice en proyectos de infraestructura vial, adecuándose a las condiciones locales de la ciudad del Cusco y promoviendo soluciones más eficientes y durables.

Dedicatoria

El presente trabajo de investigación está dedicado, en primer lugar, a mis padres.

A mi padre Rodolfo, por su respaldo, enseñanzas y palabras de aliento, así como por la confianza depositada en mí; y a mi madre Gregoria, por su apoyo incondicional y acompañamiento permanente en cada etapa de mi vida, ya que el apoyo de mis padres ha sido fundamental para alcanzar este objetivo.

Asimismo, dedico este trabajo a mi hermana Cinthya, por su apoyo y respaldo constante; y, de manera especial, a mi hija Jatziri, quien ha sido una gran motivación para esforzarme cada día y alcanzar mis metas personales.

Finalmente, extiendo esta dedicatoria a mis abuelos Bernardino y Nicasia, por su apoyo y consejos, así como a mis tíos y demás familiares.

Anderson Santoyo Puclla

A mis amados padres, Cecilio Víctor y Ubaldina, por ser mi guía y fortaleza. Gracias por su amor incondicional, por sus sacrificios silenciosos y por enseñarme, mediante su ejemplo, a ser perseverante. A ustedes dedico este logro con todo mi cariño y gratitud.

A mis hermanos y hermanas, por estar siempre presentes, brindarme su apoyo en los momentos más difíciles. Gracias por ser mi hogar incluso en la distancia. Su cariño, sus consejos y compañía fueron muchas veces el empuje que necesite para perseverar y llegar hasta el final.

Fray Luis Choccata Sotelo

Agradecimiento

Expreso mi sincero agradecimiento a mi familia, por el apoyo constante, la comprensión y el aliento brindado a lo largo de mi formación académica, factores fundamentales para la culminación de este trabajo de investigación.

Agradezco a mi asesora de tesis, la Ing. Luz Marlene Nieto Palomino, por su orientación académica, disposición y aportes técnicos, en la presente investigación. Asimismo, extiendo mi agradecimiento a los docentes revisores por el tiempo dedicado, las observaciones realizadas y las sugerencias que contribuyeron a fortalecer la tesis.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de manera directa o indirecta, colaboraron y aportaron con sus conocimientos, tiempo y apoyo durante el proceso de elaboración de esta investigación, haciendo posible su culminación.

Anderson Santoyo Puclla

Agradezco a Dios por que me lleno de valor, paciencia y perseverancia para poder llevar a cabo el presente trabajo, por cuidar de mí y ser mi guía del día a día en mi vida.

A toda mi familia, especialmente a mi papá, mamá y a mis hermanos quienes siempre estuvieron para apoyarme incondicionalmente para lograr esta meta, tan importante para mí.

A los ingenieros que fueron parte de este proceso, que nos apoyaron con conocimientos y otros dándonos un espacio en sus despachos aún sin conocernos, por su empatía y solidaridad.

A mi alma mater la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, a mi querida facultad de Ingeniería Civil, donde me forme como persona y profesional. A todos mis docentes por haberme compartido sus conocimientos, valores y principios en el que ahora me veo reflejado.

A mi asesora la Ing. Marlene Nieto Palomino por su compromiso, disposición, por compartir sus conocimientos con nosotros, y por ser nuestra guía a la culminación del presente trabajo de investigación.

Al Ing. William Américo Luna Rozas, por sus aportes técnicos, asesoramiento y recomendaciones que fortalecieron el desarrollo de la presente investigación.

Fray Luis Choccata Sotelo

Resumen

La presente investigación aplicada, de enfoque cuantitativo y diseño experimental, tuvo como objetivo evaluar la influencia de la relación agua/cemento (a/c) y del porcentaje de microsílice en el módulo de elasticidad del concreto para pavimentos rígidos en Cusco, 2024. La recolección de datos se realizó mediante observación directa y registro sistemático, aplicando un muestreo no probabilístico. Se elaboraron 15 diseños de mezcla según el ACI 211.1-22, considerando relaciones a/c de 0,40; 0,50 y 0,60, y contenidos de microsílice de 0%, 4%, 6%, 8% y 10% respecto al peso del cemento.

Se elaboraron probetas cilíndricas para determinar el módulo de elasticidad estático y la resistencia a compresión, además de vigas para el ensayo de flexión; asimismo, se evaluó la trabajabilidad mediante el ensayo de asentamiento. Los resultados, analizados mediante la metodología de superficie de respuesta, evidenciaron que la reducción de la relación a/c y el incremento de microsílice aumentaron la resistencia a compresión y el módulo de elasticidad.

El mayor módulo de elasticidad fue de 297 260,41 kgf/cm², obtenido con a/c = 0,40 y 10% de microsílice; mientras que el mayor incremento respecto al diseño patrón fue de 18,55%, correspondiente a a/c = 0,50 y 10% de microsílice. Se concluyó que la microsílice mejora el comportamiento mecánico del concreto, aunque reduce progresivamente su trabajabilidad. El módulo de elasticidad determinado mediante vigas fue considerado exploratorio debido a su mayor variabilidad.

Palabras clave: Concreto, Módulo de elasticidad, Microsílice, Pavimentos rígidos, Relación agua/cemento.

Abstract

This applied research, employing a quantitative approach and experimental design, aimed to evaluate the influence of the water-to-cement ratio (w/c) and silica fume content on the modulus of elasticity of concrete for rigid pavements in Cusco, 2024. Data were collected through direct observation and systematic recording, using non-probability sampling. Fifteen concrete mix designs were developed in accordance with ACI 211.1-22, considering w/c ratios of 0.40, 0.50, and 0.60, and silica fume contents of 0%, 4%, 6%, 8%, and 10% by weight of cement.

Cylindrical specimens were prepared to determine the static modulus of elasticity and compressive strength, along with beams for flexural testing. Workability was also evaluated through the slump test. The results, analyzed using response surface methodology, showed that decreasing the w/c ratio and increasing the silica fume content improved both compressive strength and modulus of elasticity.

The highest modulus of elasticity was 297,260.41 kgf/cm², obtained with a w/c ratio of 0.40 and 10% silica fume. Meanwhile, the greatest increase compared with the reference mix was 18.55%, corresponding to a w/c ratio of 0.50 and 10% silica fume. It was concluded that silica fume improves the mechanical behavior of concrete, although it progressively reduces its workability. The modulus of elasticity obtained from beam testing was considered exploratory due to its greater variability.

Keywords: Concrete, Modulus of elasticity, Silica fume, Rigid pavements, Water-to-cement ratio.

Introducción

El concreto es uno de los más empleado en la construcción para pavimentos rígidos debido a su disponibilidad, economía y capacidad para resistir cargas repetitivas de tránsito. En este tipo de infraestructura, el desempeño estructural no depende únicamente de la resistencia a compresión, sino también de propiedades mecánicas asociadas a la rigidez del material, particularmente el módulo de elasticidad, ya que esta variable controla la respuesta a la deformación del sistema, la distribución de esfuerzos y el comportamiento frente a acciones de servicio. En la práctica, las variaciones en el módulo de elasticidad pueden reflejarse en cambios de deflexiones, fisuración y durabilidad, por lo que su evaluación resulta relevante para un diseño y control de calidad más confiables del concreto destinado a pavimentos.

En los últimos años, el uso de adiciones minerales como la microsílice ha ganado interés por su contribución a la mejora microestructural del concreto. La microsílice, debido a su elevada finura y reactividad puzolánica, favorece el refinamiento de poros y la formación de productos cementantes adicionales, lo que puede incrementar la compacidad de la matriz y mejorar propiedades como resistencia y rigidez. No obstante, su incorporación también puede disminuir el asentamiento y aumentar la demanda de agua o de aditivos para mantener la trabajabilidad, lo que hace necesario estudiar su efecto en condiciones controladas y dentro de rangos prácticos de dosificación.

En el contexto local de Cusco, donde se ejecutan obras viales en distintas condiciones ambientales y de disponibilidad de materiales, es importante disponer de evidencia experimental que permita comprender cómo la relación a/c y la microsílice influyen sobre el módulo de elasticidad del concreto aplicado a pavimentos rígidos. En respuesta a ello, la presente investigación se desarrolla con un enfoque cuantitativo y diseño experimental, evaluando combinaciones de relación a/c (0,40; 0,50 y 0,60) y porcentaje de microsílice (0, 4, 6, 8 y 10% como reemplazo del cemento). Se elaboraron mezclas y se ensayaron a los 28 días, registrándose la trabajabilidad mediante slump y determinándose el módulo de elasticidad estático en probetas cilíndricas como resultado principal para el análisis y discusión. Asimismo, se obtuvo información complementaria de ensayos de flexión en vigas con fines exploratorios, precisando que el análisis principal se fundamenta en el módulo de elasticidad estático por su mayor representatividad y confiabilidad para este tipo de evaluación.

En consecuencia, esta tesis busca aportar resultados experimentales que permitan explicar el efecto de la relación a/c y de la microsílice en el módulo de elasticidad del concreto para pavimentos rígidos, contribuyendo a la selección de proporciones de mezcla con mejor desempeño mecánico y criterios técnicos aplicables al control de calidad y a la toma de decisiones en obra.

La evaluación del módulo de elasticidad representa un aspecto fundamental dentro del diseño y control de calidad del concreto, debido a que este parámetro refleja la capacidad del material para resistir deformaciones elásticas cuando es sometido a cargas. En el caso de los pavimentos rígidos, un adecuado módulo de elasticidad permite una mejor distribución de los esfuerzos hacia las capas

inferiores, reduciendo las deformaciones excesivas y contribuyendo a disminuir la aparición de fisuras que afectan la vida útil de la estructura. Por esta razón, resulta importante analizar los factores que influyen en esta propiedad, especialmente la relación agua/cemento y la incorporación de microsílice, debido a que ambas variables influyen directamente en el comportamiento mecánico del concreto. En ese sentido, la presente investigación busca generar evidencia experimental que permita comprender el efecto de estas variables sobre el módulo de elasticidad, proporcionando información técnica para optimizar el diseño de mezclas destinadas a pavimentos rígidos. Asimismo, los resultados obtenidos podrán servir como referencia para futuras investigaciones y para profesionales dedicados al diseño, construcción y control de calidad de obras viales, promoviendo el empleo de concretos con mejores prestaciones mecánicas y mayor durabilidad bajo las condiciones propias de la región del Cusco.

El desarrollo de la investigación está compuesto por seis capítulos que se explicarán a continuación su contenido.

Capítulo I: En este capítulo se da a conocer la introducción de esta investigación como abordar el planteamiento del problema, describiendo la situación problemática, la formulación del problema general y específico, los objetivos de la investigación, la justificación del estudio y la delimitación espacial y temporal.

Capítulo II: Se desarrolla el marco teórico, que incluye los fundamentos conceptuales y teóricos relacionados con el concreto, la microsílice y el módulo de elasticidad, así como los antecedentes nacionales e internacionales que respaldan la investigación.

Capítulo III: En este capítulo se dará a conocer la metodología de la investigación, detallando el enfoque, tipo y diseño del estudio, las hipótesis planteadas, la población y muestra, los materiales empleados y los procedimientos experimentales utilizados.

Capítulo IV: Se exponen los resultados obtenidos a partir de los ensayos realizados, presentándolos de manera ordenada mediante tablas y figuras.

Capítulo V: Se realiza el análisis y discusión de los resultados, interpretándolos y comparándolos con estudios previos y con los objetivos planteados.

Capítulo VI: Se formulan las conclusiones finales y las recomendaciones derivadas de los resultados obtenidos.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

El concreto es un material que se emplea bastante en la construcción de pavimentos debido a su alta resistencia y durabilidad; sin embargo, en la región Cusco, las condiciones climáticas, la variabilidad térmica y las cargas repetitivas generan fisuras prematuras que afectan la vida útil de las vías. Esta problemática está asociada, en gran medida, al bajo módulo de elasticidad del concreto convencional, lo que limita su capacidad para resistir deformaciones bajo esfuerzos de flexión y compresión. A pesar de los avances en la incorporación de aditivos minerales, el uso de microsílice en mezclas destinadas a pavimentos en esta región aún no se ha evaluado de forma sistemática.

Si la ausencia de investigaciones orientadas a resolver dicha problemática continua, se incrementará el deterioro prematuro de la infraestructura vial, ocasionando mayores costos de mantenimiento, interrupciones en la transitabilidad y riesgos en la seguridad vial. La falta de información técnica sobre cómo influyen factores como la relación agua/cemento y el contenido de microsílice en el comportamiento mecánico del concreto dificulta la implementación de diseños más eficientes para pavimentos.

Por ello, se hace necesario un análisis experimental que permita establecer la relación entre estos factores y el módulo de elasticidad del concreto. Para ello, se emplea la metodología de superficie de respuesta, que posibilita evaluar simultáneamente la influencia y optimización de variables, con el fin de desarrollar pavimentos más duraderos y con propiedades físico-mecánicas más óptimas que garanticen un mejor desempeño estructural.

1.2. Formulación de Problemas

1.2.1. Problema General

PG: ¿Cómo influye la relación agua/cemento y el porcentaje de microsílice en el módulo de elasticidad del concreto para pavimentos en Cusco?

1.3.2. Problemas Específicos

P.E.01: ¿Cómo varía el módulo de elasticidad del concreto con diferentes porcentajes de microsílice (0%, 4%, 6%, 8% y 10%)?

P.E.02: ¿Qué efecto tiene la relación agua/cemento (0,40; 0,50; 0,60) en el módulo de elasticidad?

P.E.03: ¿Qué combinación de factores maximiza el módulo de elasticidad del concreto?

1.3. Justificación

1.3.1. Justificación Teórica

La presente investigación se justifica teóricamente porque busca ampliar el conocimiento sobre el comportamiento mecánico del concreto incorporado con mineral de microsílice, evaluando la influencia de la relación agua/cemento y del porcentaje de este material sobre el módulo de elasticidad. Esta propiedad es fundamental en el diseño de pavimentos rígidos, ya que determina la rigidez del concreto y su capacidad para soportar las cargas de servicio.

Asimismo, mediante la aplicación de la metodología de superficie de respuesta (RSM) se analizará el efecto individual y combinado de las variables de estudio, permitiendo identificar el diseño de mezcla con mejor desempeño y desarrollar un modelo que describa el comportamiento del módulo de elasticidad. Esto permitirá comprender de manera más precisa la interacción entre los factores evaluados.

Finalmente, los resultados contribuirán a fortalecer los fundamentos teóricos sobre los efectos puzolánicos y de densificación que produce la microsílice en la matriz del concreto, aportando evidencia científica que complemente las investigaciones existentes y sirva como referencia para futuros estudios relacionados con el desarrollo de concretos más resistentes y durables para pavimentos rígidos en las condiciones de la región del Cusco.

1.3.2. Justificación Práctica

La investigación ayudará a resolver problemas de la baja eficiencia mecánica del concreto convencional, al evaluar el impacto del mineral de microsílice en el módulo de elasticidad. Los hallazgos podrán aplicarse en proyectos reales, optimizando el diseño y desempeño de elementos sometidos a esfuerzos de flexión. Esta solución tiene implicaciones trascendentales, ya que permitirá mejorar la calidad y durabilidad de los pavimentos rígidos en la ciudad del Cusco, además de reducir los costos de reparación y mantenimiento, prolongando su vida útil.

Asimismo, los resultados servirán como referencia técnica para ingenieros, proyectistas y entidades encargadas de la ejecución de obras viales, facilitando la selección de diseños de mezcla más eficientes para las condiciones locales. De esta manera, se promoverá el uso de concretos con mejor desempeño mecánico, contribuyendo a la construcción de pavimentos más seguros, durables y sostenibles.

1.3.3. Justificación Social

La investigación posee una trascendencia social importante, dado que busca contribuir al desarrollo de infraestructuras viales más seguras, durables y sostenibles en la región del Cusco. Al

evaluar el módulo de elasticidad del concreto incorporado con microsílice, se promueve la utilización de materiales que mejoran el desempeño del pavimento rígido, reduciendo el deterioro prematuro y los costos de mantenimiento. Esto repercute positivamente en la calidad de vida de la población, al garantizar vías en mejores condiciones de servicio y con mayor tiempo de vida útil.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1. Objetivo General

O.G: Evaluar la influencia de la relación agua/cemento y el porcentaje de microsílice en el módulo de elasticidad del concreto para pavimentos rígidos.

1.4.2. Objetivos Específicos

O.E.01: Determinar el módulo de elasticidad del concreto con diferentes porcentajes de microsílice ((0%, 4%, 6%, 8% y 10%).

O.E.02: Analizar el efecto de la relación agua/cemento (0,40; 0,50; 0,60) en el módulo de elasticidad.

O.E.03: Identificar la combinación óptima de agua/cemento y microsílice que maximice el módulo de elasticidad.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

H.G: La combinación de las relaciones agua/cemento evaluadas (0.40, 0.50 y 0.60) y los porcentajes de microsílice comprendidos (entre 4 % y 10 %) mejora significativamente el módulo de elasticidad del concreto destinado a pavimentos rígidos.

1.5.2. Hipótesis Específicas

H.E.01: El módulo de elasticidad del concreto aumenta con la incorporación de microsílice, siendo más significativo el incremento en porcentajes de microsílice entre 6% y 10% del peso del cemento.

H.E.02: Una menor relación agua/cemento (0,40) genera un módulo de elasticidad más alto en comparación con relaciones mayores (0,50 y 0,60), debido a una mejor compacidad y menor porosidad en la matriz del concreto.

H.E.03: La combinación de una relación agua/cemento de 0,40 y un porcentaje de microsílice entre 8% y 10% maximiza el módulo de elasticidad del concreto, debido a una reducción óptima de vacíos y una mejora en la cohesión de la mezcla.

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

A nivel internacional, existen investigaciones sobre la adición del mineral de microsílice al concreto especialmente a lo que respecta la mejora de la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad como:

Siddique (2011), en el artículo titulado "Utilization of Silica Fume in Concrete: Review of Hardened Properties" (Utilización de la microsílice en el concreto: revisión de las propiedades del concreto endurecido), tuvo como objetivo analizar los efectos de la incorporación de microsílice en las propiedades mecánicas del concreto endurecido mediante una revisión de investigaciones publicadas sobre este material cementante suplementario. La metodología consistió en una revisión exhaustiva de estudios experimentales relacionados con las propiedades físicas y químicas de la microsílice y su influencia en la resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad, porosidad, fluencia y retracción del concreto. Los resultados evidenciaron que la elevada finura y actividad puzolánica de la microsílice favorecen la formación adicional de gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H), lo que densifica la matriz cementicia, reduce la porosidad y mejora significativamente las propiedades mecánicas y la durabilidad del concreto. Asimismo, se observó que diversos estudios reportan los mejores desempeños cuando la sustitución parcial del cemento se encuentra entre 5 % y 10 % de microsílice. Se concluyó que la incorporación de microsílice constituye una alternativa eficaz para producir concretos de alto desempeño, debido a que incrementa la resistencia mecánica, disminuye la permeabilidad y mejora la durabilidad frente a diferentes agentes agresivos.

Tak et al. (2023), en el artículo denominado Effect of using silica fume as a partial replacement of cement in concrete (Efecto del uso de humo de sílice como sustituto parcial del cemento en el concreto), tuvieron como objetivo evaluar la influencia de la microsílice como reemplazo parcial del cemento sobre las propiedades mecánicas del concreto. La metodología consistió en elaborar mezclas de concreto con sustituciones de cemento del 0 %, 5 %, 8 %, 11 % y 15 % de microsílice, evaluando la resistencia a compresión, resistencia a tracción por división y resistencia a flexión a los 7, 14 y 28 días de curado. Los resultados evidenciaron que la incorporación de microsílice incrementó significativamente las propiedades mecánicas del concreto, alcanzándose el mejor desempeño con un reemplazo del 11 %, debido a la formación adicional de gel C-S-H y al refinamiento de la microestructura. Se concluyó que la microsílice constituye un material cementante suplementario eficiente para mejorar el comportamiento mecánico del concreto y reducir el consumo de cemento Portland.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el ámbito nacional, también se identifican investigaciones desarrolladas en el Perú que abordan la incorporación de microsílice en el concreto y su influencia sobre sus propiedades mecánicas y de durabilidad. Estos estudios constituyen un importante sustento para la presente investigación y se presentan a continuación:

Huatay Aliaga (2014), en la tesis de pregrado denominada "Efecto de la microsílice en la resistencia a la compresión simple del concreto con Cemento Portland Tipo I", para optar el título profesional de ingeniero civil, en la Universidad Nacional de Cajamarca. El objetivo principal fue comparar las propiedades mecánicas del concreto con diferentes porcentajes de microsílice (5%, 8%, y 10%) respecto a una mezcla patrón. La metodología de este trabajo consistió en elaborar diseños de mezclas sustituyendo parcialmente el cemento por el aditivo en los porcentajes mencionados, para luego someter las probetas a ensayos de resistencia a compresión simple y evaluar su comportamiento frente al concreto convencional. Los resultados obtenidos indicaron que la resistencia máxima a compresión (309 kgf/cm²) se alcanzó con una dosificación del 5% de microsílice, evidenciando una mejora significativa en comparación con el concreto sin aditivos; sin embargo, los incrementos con los porcentajes de 8% y 10% no superaron al diseño óptimo. Por lo expuesto anteriormente, se concluye que la incorporación de microsílice optimiza las propiedades mecánicas del concreto en aplicaciones estructurales, resaltando la importancia de un correcto diseño de mezclas para determinar el porcentaje exacto que maximice su resistencia.

Peralta Panta (2023), en la tesis de pregrado denominada "Caracterización mecánica del concreto incorporando microsílice como aditivo parcial del cemento", para optar el título profesional de ingeniero civil, en la Universidad Señor de Sipán. El objetivo principal fue analizar la caracterización mecánica del concreto al incorporar microsílice como aditivo parcial del cemento. La metodología de este trabajo consistió en un enfoque experimental donde se elaboraron 216 muestras de concreto con diseños de resistencia a compresión de 210 kgf/cm² y 280 kgf/cm², comparando un grupo de control frente a tres grupos experimentales con sustituciones del 4%, 6% y 8% de microsílice en peso del cemento. Los resultados obtenidos indicaron que el uso del 8% de microsílice generó mejoras significativas en las propiedades mecánicas, destacando un aumento de la resistencia a la flexión del 30,38% para el diseño de 210 kgf/cm² y del 20,29% para el de 280 kgf/cm² en comparación con las mezclas de control, debido a la alta reactividad puzolánica que favorece la formación de gel C-S-H y densifica la matriz del concreto. Por lo expuesto anteriormente, se concluye que la microsílice representa una alternativa técnica efectiva para mejorar la resistencia a la flexión en elementos estructurales de concreto, optimizando la adherencia interna y reduciendo la porosidad del material.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro mecánico fundamental que representa la rigidez del material y su capacidad para deformarse elásticamente ante la aplicación de cargas. Según Neville (2011), el módulo de elasticidad permite cuantificar la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria producida dentro del rango elástico del concreto, siendo un indicador clave en el análisis y diseño de elementos estructurales.

De acuerdo con el American Concrete Institute – ACI 318 (2019), el módulo de elasticidad del concreto es especialmente relevante en estructuras sometidas a cargas de servicio, ya que influye directamente en el control de deflexiones, fisuración y redistribución de esfuerzos. Este parámetro adquiere mayor importancia en elementos sometidos a flexión, como vigas, losas, pavimentos rígidos y presas, donde las deformaciones elásticas condicionan el desempeño estructural y la durabilidad de la estructura.

Desde un punto de vista mecánico, el módulo de elasticidad del concreto este dado por la pendiente de la curva esfuerzo–deformación en su tramo inicial, donde el comportamiento del material es aproximadamente lineal. Matemáticamente, esta relación se expresa como:

Ecuación: Ley de Hooke para materiales elásticos.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad del concreto (kgf/cm²).

σ: Esfuerzo normal aplicado (kgf/cm²).

ε: Deformación unitaria (adimensional).

2.2.1.1. Fórmula Empírica para Estimar el Módulo de Elasticidad

Hay diferentes normativas que nos sugieren para hallar el módulo de elasticidad a partir de la resistencia a la compresión (f´c), pero aquí nos basaremos en una que es del ACI como se muestra a continuación:

Ecuación: Modulo de elasticidad según RNE E.060-20.

$$E = 15000\sqrt{f'c}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad del concreto (kgf/cm²).

f´c: Resistencia a la compresión (kgf/cm²).

2.2.1.2. Determinación Experimental del Módulo de Elasticidad en Vigas

El módulo de elasticidad del concreto puede determinarse de manera indirecta mediante ensayos de flexión, analizando la relación entre la carga aplicada y la deflexión producida en el elemento. En el presente estudio, el módulo de elasticidad se evaluará empleando un ensayo de flexión con carga aplicada en los tercios del vano, conforme a lo establecido en la norma NTP 339.078-22, la cual describe un ensayo de flexión a cuatro puntos.

Según esta norma, la viga de concreto es simplemente apoyada y sometida a dos cargas iguales, aplicadas en los puntos ubicados a un tercio de la longitud del vano desde cada apoyo. Este tipo de ensayo genera una zona central sometida a momento constante, lo que permite una evaluación más representativa del comportamiento elástico del concreto bajo flexión pura.

La expresión utilizada para el cálculo del módulo de elasticidad en flexión se fundamenta en la teoría de la elasticidad de vigas, desarrollada en los estudios clásicos de resistencia de materiales. Según Mecánica de Materiales, Beer (2015), para una viga simplemente apoyada sometida a dos cargas iguales aplicadas en los tercios del vano, la deflexión máxima se produce en la zona central del elemento, donde el momento flector permanece constante. Bajo estas condiciones, la medición de la deflexión central permite evaluar de manera representativa el comportamiento elástico del material, reduciendo la influencia de los esfuerzos cortantes y asegurando una determinación más confiable de su rigidez, mediante la siguiente ecuación.

Ecuación: Modulo de elasticidad en flexión para vigas simplemente apoyadas con carga en los tercios del vano.

$$E = \frac{23PL^3}{108bh^3\Delta}$$

Donde:

E: Módulo de elasticidad del concreto en flexión (kgf/cm²).

P: Carga total aplicada al 40% (kgf)

L: Longitud entre apoyos (cm)

b: Ancho de la sección transversal de la viga (cm)

h: Altura de la sección transversal de la viga (cm)

Δ: Deflexión medida en el centro del vano (cm)

2.2.2. Pavimento rígido

Según los criterios técnicos establecidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), el pavimento rígido es una estructura vial cuya capa principal está constituida por losas de concreto hidráulico, las cuales transmiten directamente las cargas del tránsito hacia la subrasante

mediante su alta rigidez estructural. Este tipo de pavimento se caracteriza por su capacidad para distribuir los esfuerzos sobre un área amplia, reduciendo las deformaciones, y por su durabilidad frente a cargas repetitivas, condiciones ambientales adversas y acciones mecánicas, siendo ampliamente utilizado en vías con alto volumen de tránsito y en infraestructuras que requieren un desempeño estructural a largo plazo.

2.2.2.1. Influencia del módulo de elasticidad del concreto en el comportamiento estructural del pavimento rígido

El módulo de elasticidad del concreto es un parámetro fundamental que condiciona el comportamiento estructural del pavimento rígido, ya que define el grado de rigidez con el que la losa responde frente a las cargas vehiculares y a las variaciones térmicas. Un concreto con mayor módulo de elasticidad presenta menor deformación ante la aplicación de esfuerzos, lo que favorece una mejor distribución de tensiones hacia la subrasante y reduce la magnitud de las deflexiones. Por el contrario, valores bajos del módulo generan mayores deformaciones, incrementando la concentración de esfuerzos y la probabilidad de fisuración prematura, lo que afecta la durabilidad y el desempeño estructural del pavimento rígido.

2.2.3. Concreto

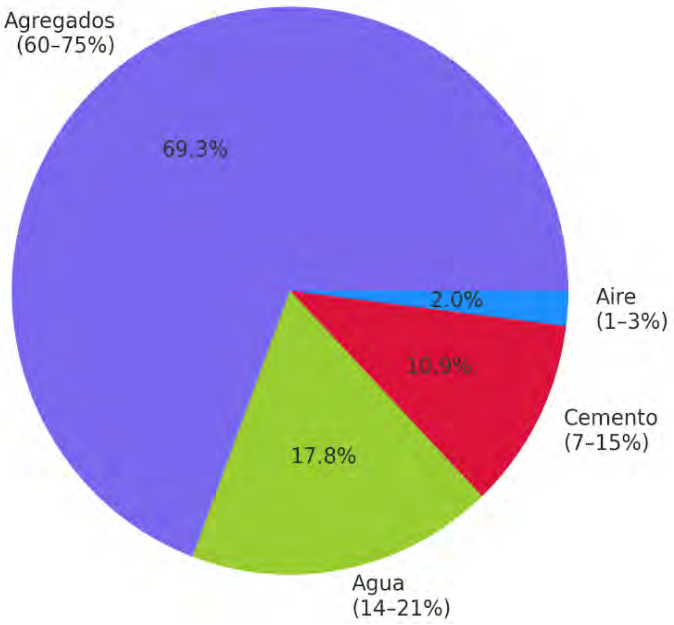
De acuerdo con la normativa peruana, el concreto se define como un material de naturaleza compuesta, formado a partir de la combinación de cemento hidráulico, agregados finos y gruesos, y agua, pudiendo incorporarse aditivos químicos o adiciones minerales con el propósito de mejorar o modificar sus propiedades en estado fresco y endurecido. De acuerdo con la Norma E.060 Concreto Armado del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), el concreto constituye el principal material empleado en la construcción de elementos estructurales debido a su elevada capacidad para desarrollar resistencia mecánica, su durabilidad y su adecuado comportamiento frente a cargas de compresión. Asimismo, sus propiedades dependen de la calidad de los materiales constituyentes, de las proporciones de la mezcla, del proceso de fabricación y de las condiciones de curado, factores que influyen directamente en su desempeño y vida útil.

2.2.3.1. Componentes del concreto

Desde el punto de vista de la tecnología del concreto, este material se concibe como un sistema integrado por cemento, agregados, agua y aditivos, los cuales intervienen directamente en la formación y desarrollo de sus propiedades. De manera complementaria, el aire presente en la mezcla, ya sea retenido o incorporado intencionalmente, no participa en las reacciones del sistema, pero ejerce una influencia significativa en el comportamiento mecánico y en la durabilidad del concreto (Neville & Brooks, 2010; Mehta & Monteiro, 2014).

Gráfico 1

Proporciones típicas en volumen de los componentes del concreto.



Nota: Indica los componentes del concreto según porcentajes. Fuente*:* Tomado de Mehta y Monteiro; Neville (2011)

2.2.3.1.1. Cemento

Según el NTP 334.009-23, el cemento Portland es un tipo de cemento hidráulico que se produce a partir de la molienda fina del clinker, el cual está hecho principalmente por silicatos de calcio con capacidad hidráulica. Durante el proceso de fabricación, se incorpora usualmente sulfato de calcio y, en algunos casos, pequeñas proporciones de caliza, con el propósito de regular sus propiedades físicas y químicas.

Características principales

- El cemento Portland actúa como un aglomerante hidráulico, ya que es capaz de fraguar y desarrollar resistencia en presencia de agua.
- El clinker se produce mediante la calcinación de una mezcla adecuada de materiales calcáreos y arcillosos sometidos a altas temperaturas.
- La adición de sulfato de calcio permite controlar el tiempo de fraguado del cemento.
- De acuerdo con la normativa vigente, puede incluir adiciones menores, como caliza finamente molida, sin afectar su desempeño normativo.

Importancia en el concreto

El cemento Portland es el componente fundamental responsable de las reacciones de hidratación que originan los productos cementantes encargados de proporcionar resistencia y cohesión

al concreto. Asimismo, sus características influyen directamente en la resistencia mecánica, la durabilidad y el comportamiento estructural del concreto empleado en pavimentos rígidos.

Tipos de cemento

Según la norma NTP 334.009-23, se presenta los siguientes tipos de cementos:

Tabla 1

Tipos de cementos según el uso.

Tipo de Cemento	Características	Usos principales
Tipo I – Uso general	Resistencia normal, sin propiedades especiales.	Edificaciones, pavimentos, puentes y obras en general.
Tipo II – Moderada resistencia a sulfatos	Resiste ataques moderados de sulfatos. Menor calor de hidratación que el cemento Tipo I.	Presas, cimentaciones y obras hidráulicas en suelos o aguas con sulfatos moderados.
Tipo III – Alta resistencia inicial	Desarrolla alta resistencia en pocos días.	Prefabricados, reparaciones rápidas, pavimentos con habilitación temprana.
Tipo IV – Bajo calor de hidratación	Disminuye la generación de calor en la hidratación.	Grandes volúmenes de concreto, presas de gravedad.
Tipo V – Alta resistencia a sulfatos	Máxima resistencia frente a ambientes con altas concentraciones de sulfatos.	Obras en contacto con agua de mar, saneamiento, cimentaciones en suelos salinos.

Nota: Fuente: Adaptado de Tecnología del concreto (2nd ed.), por Neville y Brooks (2010).

En esta investigación se empleará cemento Portland Tipo I, debido a que corresponde a un aglomerante hidráulico de aplicación general, obtenido a partir de la molienda de clinker con la adición controlada de yeso. Este tipo de cemento presenta un desarrollo de resistencia mecánica apropiado bajo condiciones normales de servicio, sin estar destinado a situaciones que demanden resistencia especial frente a sulfatos o control del calor de hidratación, lo que lo hace adecuado para el concreto utilizado en pavimentos rígidos (NTP 334.009-23).

2.2.3.1.2. Agregados

Según con la NTP 400.011-20, los agregados se definen como materiales constituidos por partículas de naturaleza inorgánica, provenientes de fuentes naturales o artificiales, que pueden emplearse tal como se obtienen o luego de ser sometidos a procesos de tratamiento, siempre que sus tamaños se encuentren dentro de los rangos establecidos por la normativa técnica vigente.

Asimismo, según lo señalado por Mehta y Monteiro (2014), los agregados desempeñan un papel fundamental dentro del concreto, ya que cumplen diversas funciones, entre las cuales se destacan:

- Contribuir a la reducción del contenido de pasta de cemento al actuar como material de relleno, lo que permite optimizar el costo del concreto.
- Proporcionar resistencia al material endurecido frente a solicitaciones mecánicas, desgaste superficial y efectos ambientales.
- Limitar las variaciones volumétricas asociadas a los procesos de fraguado, endurecimiento y a los ciclos de humedad, secado y cambios de temperatura.

Agregado fino

El agregado fino es un material de naturaleza granular, constituido por partículas de origen natural o artificial, que forma parte fundamental de la mezcla de concreto. De acuerdo con la NTP 400.011-20, se caracteriza porque la totalidad de sus partículas es capaz de pasar a través del tamiz de 3/8", cumpliendo con los límites granulométricos establecidos por la normativa técnica.

Este tipo de agregado cumple una función esencial dentro del concreto, ya que contribuye a la formación de una matriz homogénea al llenar los vacíos existentes entre las partículas del agregado grueso. Asimismo, influye directamente en la trabajabilidad, la cohesión y la consistencia de la mezcla en estado fresco, así como en el comportamiento mecánico y la durabilidad del concreto en estado endurecido. Una adecuada selección y gradación del agregado fino permite mejorar la compactación de la mezcla y optimizar el desempeño estructural del concreto.

Agregado grueso

De acuerdo con los lineamientos técnicos de la NTP 400.011, el agregado grueso está conformado por partículas minerales de mayor tamaño que son retenidas en el tamiz N.º 4 (4,75 mm). Estos materiales pueden tener origen natural, producto de la desintegración de rocas, o artificial, obtenidos mediante procesos de trituración mecánica controlada.

El agregado grueso constituye un componente esencial del concreto, ya que aporta rigidez y estabilidad a la mezcla, influyendo de manera significativa en la resistencia mecánica, el módulo de elasticidad y el comportamiento estructural del concreto endurecido. Además, su adecuada gradación y calidad contribuyen a mejorar la distribución de esfuerzos, reducir la demanda de pasta de cemento y optimizar el desempeño del concreto empleado en pavimentos rígidos.

2.2.3.1.3. Agua

El agua es un componente fundamental en la elaboración del concreto, ya que permite que se produzca la hidratación del cemento y, en consecuencia, el desarrollo de las propiedades mecánicas y de durabilidad del material (Neville, 2011).

En el concreto, el agua cumple funciones esenciales, tales como:

- Permitir el desarrollo de las reacciones químicas de hidratación al interactuar con el cemento.
- Actuar como medio que proporciona fluidez a la mezcla, facilitando la obtención de una adecuada trabajabilidad.
- Contribuir a la formación de la estructura de poros necesaria para el correcto desarrollo de los productos de hidratación dentro de la pasta de cemento.

De acuerdo con la NTP 339.088-19 – Agua para concreto, se establece que el agua potable es apta para ser utilizada tanto en la mezcla como en el curado del concreto, debido a que, bajo condiciones normales, cumple con los requisitos mínimos de calidad exigidos por la normativa técnica, ya que esto justifica que el agua potable:

- No contiene sales ni sustancias perjudiciales que interfieran con el proceso de hidratación del cemento.
- Presenta un valor de pH adecuado, generalmente superior a 5, lo cual favorece el fraguado del concreto.
- Se encuentra libre de contaminantes orgánicos que puedan afectar la resistencia o la durabilidad del material.
- No contiene arcillas, aceites ni materiales en suspensión que puedan alterar el tiempo de fraguado o las propiedades mecánicas del concreto.

En consecuencia, podemos decir que el uso de agua potable está normativamente permitido y garantiza un comportamiento adecuado del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido, brindando las propiedades requeridas.

2.2.3.1.4. Aditivo

La NTP 334.088-21 define a los aditivos químicos para concreto como aquellos materiales que se incorporan a la mezcla antes o durante el proceso de amasado, diferentes del agua, el cemento y los agregados, cuya finalidad es alterar o mejorar determinadas propiedades del concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Asimismo, dicha norma establece los criterios relacionados con los requisitos, la clasificación y el desempeño de los aditivos químicos, los cuales se dosifican en pequeñas cantidades con el objetivo de optimizar características específicas del concreto, tales como el tiempo de fraguado, la trabajabilidad, la retención de agua, el desarrollo de resistencia, la durabilidad y la reducción del contenido de agua en la mezcla.

Clasificación de los aditivos

La norma NTP 334.088-21 clasifica a los aditivos en varios tipos que se mostrarán en la siguiente tabla.

Tabla 2

Tipos de aditivos según la necesidad del concreto.

Tipo de aditivo	Descripción resumida
Tipo A – Reductor de agua	Disminuye el contenido de agua manteniendo la trabajabilidad o aumenta la resistencia.
Tipo B – Retardante	Retarda el fraguado, prolongando el tiempo de trabajabilidad.
Tipo C – Acelerante	Acelera el fraguado y el desarrollo inicial de resistencia.
Tipo D – Reductor de agua y retardante	Reduce agua y simultáneamente retrasa el fraguado.
Tipo E – Reductor de agua y acelerante	Reduce agua y acelera el fraguado y las resistencias iniciales.
Tipo F – Superplastificante	Reduce agua en alto rango (12–30%), aumenta fluidez sin variar la relación a/c.
Tipo G – Superplastificante retardante	Aumenta fluidez y retrasa el fraguado en concretos de alta trabajabilidad.

Nota: Fuente: Tabla adaptada de la NTP 334.088-21

Microsílice

La microsílice, también conocida como sílice humo, es un material mineral de carácter ultrafino, conformado por partículas esféricas de dióxido de silicio (SiO_2). De acuerdo con Neville (2011), este material se genera como subproducto del proceso industrial de fabricación del silicio metálico y de sus aleaciones, y se distingue por su elevada finura, su gran superficie específica y su notable reactividad puzolánica.

Propiedades físicas

- Alta finura: Las partículas presentan un tamaño promedio del orden de 0,1 μm y una morfología esférica, lo que favorece una mejor distribución y compactación dentro de la mezcla de concreto (Mehta & Monteiro, 2014).
- Color: Su tonalidad varía desde gris claro hasta gris oscuro, dependiendo del contenido de carbono residual presente y el grado de pureza; en el desarrollo de la presente investigación se empleó microsílice de color gris claro (Neville, 2011).

Propiedades químicas

- Alto contenido de dióxido de silicio (SiO_2): Generalmente superior al 85 %, lo que le confiere un marcado carácter puzolánico.
- Reactividad puzolánica: La microsílice reacciona con el hidróxido de calcio [$Ca(OH)_2$] liberado durante la hidratación del cemento, dando lugar a la formación adicional de

silicatos de calcio hidratados (C–S–H), lo que contribuye al refinamiento de la microestructura del concreto (Mehta & Monteiro, 2014).

- Incremento de la densidad de la matriz: Como resultado de la reacción puzolánica, se produce una reducción de la porosidad capilar, mejorando la compacidad y durabilidad del concreto.

Beneficios de la microsílice en el concreto

Aumento de la resistencia a la compresión: La disminución de la porosidad y la mayor generación de productos C–S–H permiten un incremento significativo de las resistencias mecánicas, especialmente en edades tempranas (Neville, 2011).

Mejora de la durabilidad: La reducción de la permeabilidad limita el ingreso de agentes agresivos como cloruros y sulfatos, incrementando la resistencia frente a ataques químicos y disminuyendo el riesgo de corrosión del refuerzo (Mehta & Monteiro, 2014).

Incremento de la resistencia a la flexión y del módulo de elasticidad: La incorporación de microsílice mejora la cohesión y rigidez de la pasta cementante, lo que se traduce en un aumento del módulo de elasticidad y de la capacidad resistente a flexión del concreto.

Mayor resistencia al desgaste: El concreto modificado con microsílice presenta una mejor respuesta frente a la abrasión y al impacto, lo que favorece en pavimentos rígidos.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Design Expert

Design-Expert es un software estadístico especializado en el diseño y análisis de experimentos (DOE), ampliamente utilizado en investigaciones de ingeniería para planificar ensayos, evaluar la influencia de variables independientes y optimizar respuestas. La herramienta permite aplicar metodologías como diseños factoriales, superficies de respuesta y modelos de regresión, facilitando la identificación de efectos significativos, interacciones entre variables y la determinación de condiciones óptimas del proceso.

En investigaciones experimentales sobre concreto, Design-Expert se emplea para analizar cómo factores como la relación agua/cemento y el porcentaje de microsílice influyen en propiedades mecánicas, como el módulo de elasticidad, asegurando un análisis cuantitativo riguroso y eficiente. Además, el software permite generar modelos predictivos y representar gráficamente el comportamiento de las variables mediante superficies de respuesta y gráficos de contorno, lo que facilita la interpretación de los resultados experimentales y la selección de la combinación de factores que proporciona el mejor desempeño del concreto.

CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. Variables

3.1.1. Identificación de variables

3.1.1.1. Variable Independiente

Factor (A): Relación a/c
Factor (B): % Microsílice

3.1.1.2. Variable Dependiente

Módulo de elasticidad del concreto (E)

3.1.2. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento de investigación
Módulo de elasticidad del concreto (variable dependiente)	Propiedades mecánicas del concreto	Esfuerzo aplicado (σ) Deformación unitaria (ε) Relación esfuerzo-deformación en la zona elástica.	MPa o kgf/cm²	Ensayo de módulo de elasticidad (ASTM C469-22)
Relación agua/cemento (variable independiente)	Dosificación del concreto	Peso del agua Peso del cemento Relación agua/cemento establecido.	Adimensional	Diseño de mezcla
Microsílice (variable independiente)	Contenido del mineral	Porcentaje de reemplazo respecto al cemento.	%	Diseño de mezclas
Resistencia a la compresión (variable de apoyo)	Capacidad resistente del concreto	Carga máxima soportada Área de la sección transversal Resistencia calculada	MPa o kgf/cm²	Ensayo de compresión (NTP 339.034-21)

Nota: Fuente: Elaboración propia

3.2. Alcance de estudio

La presente investigación define su alcance considerando distintos niveles metodológicos, con el fin de analizar de manera integral la influencia de la microsílice en el comportamiento mecánico del concreto, específicamente en el módulo de elasticidad aplicado al concreto para pavimentos rígidos.

3.2.1. Alcance exploratorio

Este estudio presenta un alcance exploratorio, ya que busca examinar un fenómeno, aunque ha sido investigado previamente, aún requiere mayor análisis en el contexto específico de concreto para pavimentos rígidos y del uso de microsílice. Este enfoque permite identificar cómo la incorporación de microsílice influye inicialmente en el módulo de elasticidad del concreto y reconocer los principales factores que intervienen en dicho comportamiento.

Asimismo, se exploran las características técnicas del mineral y los lineamientos normativos establecidos en las normas ASTM, ACI y NTP, con el propósito de comprender los parámetros que regulan su aplicación en el concreto.

3.2.2. Alcance descriptivo

Desde un enfoque descriptivo, esta investigación busca detallar las propiedades del concreto con microsílice y las condiciones necesarias para el desarrollo del diseño experimental. Este nivel de análisis permite establecer un diseño de mezcla que cumpla con los requisitos normativos vigentes y describir las características del material, los equipos y los procedimientos empleados en los ensayos de laboratorio, contribuyendo a la reducción de errores experimentales y resultados confiables.

3.2.3. Alcance correlacional

El presente estudio posee también un alcance correlacional, ya que analiza la relación existente entre el porcentaje de microsílice incorporado en la mezcla, la relación agua cemento y las propiedades mecánicas del concreto, principalmente el módulo de elasticidad. Mediante este enfoque se evalúa el grado de asociación entre las variables, permitiendo identificar si las variaciones en el contenido de microsílice y las diferentes relaciones de agua cemento y como estos influyen en el comportamiento mecánico del concreto para pavimentos rígidos.

3.2.4. Alcance explicativo

Finalmente, esta investigación adopta un alcance explicativo, orientado a comprender las causas que originan los cambios en el comportamiento del concreto al incorporar microsílice y se evalúa la existencia de un porcentaje óptimo de microsílice para determinadas relaciones agua/cemento,

considerando posibles factores limitantes como el aumento de la demanda de agua o la disminución de la eficiencia del material cuando se supera un contenido adecuado de adición.

Este enfoque permite explicar de manera integral los mecanismos que influyen en las propiedades mecánicas del concreto con microsílice y aporta criterios técnicos para optimizar su aplicación en pavimentos rígidos.

3.3. Metodología de Investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Esta investigación es de tipo aplicada, ya que se orientó a la generación de conocimientos con propósito práctico, dirigidos a mejorar el desempeño del concreto utilizado en pavimentos rígidos. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la investigación aplicada "busca conocer para hacer, para actuar, para construir o modificar algo" (p. 120), lo cual se relaciona directamente con la finalidad de este estudio, centrado en evaluar el efecto de la microsílice sobre el módulo de elasticidad del concreto bajo las condiciones propias de la región del Cusco.

3.3.2. Nivel de investigación

La investigación presenta tres niveles: descriptivo, correlacional y experimental.

Es descriptiva, porque permite caracterizar las propiedades mecánicas del concreto elaborado con diferentes relaciones agua/cemento y porcentajes de microsílice, detallando su comportamiento en estado endurecido mediante los ensayos de compresión, módulo de elasticidad y flexión.

Es correlacional, porque busca analizar la relación estadística entre las variables independientes relación agua/cemento y porcentaje de microsílice y las variables de respuesta, determinando su influencia mediante el análisis estadístico de superficie de respuesta.

Finalmente, es experimental, dado que se manipulan deliberadamente las variables independientes para observar su efecto sobre el módulo de elasticidad del concreto.

3.3.3. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es de tipo experimental, porque se manipularon las variables independientes (la relación agua/cemento y el porcentaje de microsílice) con el propósito de analizar su efecto sobre el módulo de elasticidad del concreto. El estudio se desarrollará en laboratorio bajo condiciones controladas, elaborando diferentes mezclas de concreto para cada combinación de factores. La aplicación de la metodología de superficie de respuesta (RSM) permitirá evaluar la influencia individual y combinada de las variables sobre el comportamiento mecánico del material y determinar el diseño que maximiza las propiedades mecánicas del concreto.

3.3.4. Enfoque de investigación

Según el enfoque de la investigación es cuantitativo, ya que se basa en la obtención, medición y análisis de datos numéricos que provienen de los ensayos de laboratorio. Con este enfoque permite evaluar de manera objetiva la relación entre las variables independientes (relación agua/cemento y porcentaje de microsílice) y las propiedades mecánicas que posee el concreto, como la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y el módulo de rotura.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La población de estudio está conformada por todas las mezclas de concreto con incorporación de microsílice que pueden elaborarse para pavimentos rígidos, considerando diferentes relaciones agua/cemento y porcentajes de aditivo mineral.

3.4.2. Muestra

La muestra de estudio está conformada por 15 diseños de mezcla de concreto, obtenidos a partir de la combinación de tres relaciones agua/cemento (0,60; 0,50; y 0,40) y cinco porcentajes de microsílice (0 %, 4 %, 6 %, 8 % y 10 %), elaboradas bajo condiciones controladas de laboratorio. Estas combinaciones representan los procedimientos experimentales definidos para evaluar el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente, el módulo de elasticidad del concreto.

La selección de la muestra se realiza mediante un muestreo no probabilístico de tipo intencional, ya que las combinaciones se establecen con base en el criterio técnico del investigador, considerando la viabilidad experimental, los límites prácticos de dosificación y la información proveniente de investigaciones previas. De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2014), en el muestreo no probabilístico “la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características del estudio o los propósitos del investigador” (p. 176). En este sentido, las mezclas seleccionadas constituyen una representación suficiente y controlada de la población teórica de concretos con microsílice, permitiendo analizar la influencia de los factores en estudio.

3.4.3. Tamaño Muestral

El tamaño muestral se determina en función de las combinaciones establecidas entre las variables independientes, obteniéndose 15 diseños de mezcla. Para cada uno de ellos se elaboran 9 especímenes, distribuidos en tres probetas cilíndricas de 15 × 30 cm para el ensayo de resistencia a la compresión, tres probetas cilíndricas para la determinación del módulo de elasticidad y tres viguetas prismáticas de 15 × 15 × 60 cm para el ensayo de flexión, totalizando 135 especímenes.

La cantidad definida de especímenes garantiza la confiabilidad estadística y la validez experimental de los resultados, permitiendo la comparación entre los diferentes tratamientos. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), "para lograr la validez interna de un experimento se requiere contar con varios grupos de comparación que permitan analizar las diferencias entre tratamientos" (p. 196). Asimismo, la elaboración y los ensayos de las muestras se realizan conforme a las normas técnicas peruanas NTP 339.034-21, NTP 339.078-22 y ASTM C469-22, asegurando la precisión y reproducibilidad de los datos obtenidos. En la Tabla 4 se muestra la cantidad total de especímenes elaborados para los respectivos ensayos, los cuales se ensayarán a los 28 días de curado.

Tabla 4

Número de especímenes

Variables independientes		**Cantidad total de especímenes**		
Relación a/c	% microsílice	Ensayo de compresión	Ensayo de módulo de elasticidad	Ensayo de flexión
0,60	0	3	3	3
	4%	3	3	3
	6%	3	3	3
	8%	3	3	3
	10%	3	3	3
0,50	0	3	3	3
	4%	3	3	3
	6%	3	3	3
	8%	3	3	3
	10%	3	3	3
0,40	0	3	3	3
	4%	3	3	3
	6%	3	3	3
	8%	3	3	3
	10%	3	3	3
total				135

Fuente: Elaboración propia.

3.5. Técnica e instrumentos de recolección y análisis de datos

3.5.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación se emplearon como técnicas de recolección de datos la observación directa y el registro sistemático de la información experimental, mediante formatos previamente elaborados para consignar de manera ordenada los resultados obtenidos durante los ensayos de laboratorio. Estos registros permitieron documentar las características de las muestras, los procedimientos aplicados y los valores medidos en cada etapa del proceso experimental.

Asimismo, la recopilación de información se sustentó en el uso de normas técnicas vigentes (ASTM, ACI y NTP), manuales de ensayo de materiales, tesis de investigación y artículos científicos especializados, los cuales sirvieron como base teórica y metodológica para el desarrollo del estudio.

Adicionalmente, durante el proceso experimental se efectuó el control y seguimiento de las condiciones de elaboración, curado y ensayo de las probetas, con la finalidad de asegurar la uniformidad de los procedimientos y minimizar posibles fuentes de error. Esta información fue registrada de manera sistemática para garantizar la trazabilidad y confiabilidad de los datos obtenidos.

Finalmente, toda la información recolectada fue organizada y procesada para su posterior análisis estadístico, permitiendo evaluar la influencia de la relación agua/cemento y del porcentaje de microsílice sobre el módulo de elasticidad del concreto, garantizando la consistencia y validez de los resultados obtenidos.

3.5.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos

Para el análisis de los datos obtenidos se aplicaron técnicas de estadística, con el objetivo de organizar, resumir y presentar la información mediante medidas de tendencia central, tablas, tablas resumen y representaciones gráficas. Este análisis permitió describir de manera clara el comportamiento de las variables evaluadas en las muestras de concreto.

De igual manera, se emplearon técnicas de estadística inferencial, orientadas a interpretar los resultados experimentales y establecer relaciones entre las variables estudiadas, permitiendo formular conclusiones válidas respecto al efecto de la microsílice en las propiedades mecánicas del concreto, en particular en el módulo de elasticidad.

Como instrumentos para el procesamiento y análisis de datos se utilizaron herramientas informáticas especializadas, tales como Microsoft Excel y Design-Expert, las cuales facilitaron el análisis estadístico, la modelación de resultados y la interpretación cuantitativa de la información obtenida. Además, se elaboraron modelos predictivos y superficies de respuesta que permitieron identificar las condiciones óptimas de la mezcla y evaluar la interacción entre los factores de estudio, respaldando la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.6. Desarrollo de la tesis

3.6.1. Selección de materiales

Los agregados empleados en la presente investigación fueron obtenidos de canteras ubicadas en la región del Cusco. El agregado fino proviene de la cantera Cunyac, localizada en el sector de Hacienda Monterrico, aproximadamente a 3 km del puente Cunyac, en el tramo vial Cusco–Abancay. Por su parte, el agregado grueso fue extraído de la cantera Vicho, situada en el distrito de San Salvador, en la margen izquierda al sureste de la ciudad del Cusco. Estas canteras fueron seleccionadas debido a que sus materiales cumplen con los requisitos de calidad establecidos por la normativa vigente y presentan una amplia disponibilidad y uso comercial en la ciudad.

El cemento utilizado corresponde a cemento Portland Tipo I, de uso general, comercializado por la empresa Sol, el cual cumple con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Peruana NTP 334.009-23, siendo adecuado para la elaboración de concretos estructurales y para pavimentos rígidos.

El agua empleada en la preparación de las mezclas y en el curado de las probetas fue agua potable proveniente de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Este recurso cumple con las condiciones de calidad exigidas para su uso en concreto, garantizando la ausencia de contaminantes orgánicos y sustancias perjudiciales para la hidratación del cemento.

En cuanto a la microsílice, se utilizó el producto comercial SikaFume, distribuido por la empresa Sika, el cual cumple con los requisitos establecidos en la NTP 334.087-18. Este material es ampliamente utilizado en la fabricación de concretos estructurales y prefabricados, debido a su alta actividad puzolánica y a su contribución en la mejora de las propiedades mecánicas y de durabilidad del concreto.

Cabe señalar que en la presente investigación no se emplearon aditivos químicos plastificantes ni superplastificantes, con el fin de evaluar de manera directa el efecto de la microsílice sobre el comportamiento mecánico del concreto.

3.6.1.1. Método extracción y preparación de las muestras (NTP 400.010-20)

La NTP 400.010-20 establece el procedimiento para la extracción, reducción y preparación de muestras representativas de agregados, con el propósito de asegurar que los ensayos de laboratorio reflejen de manera confiable las propiedades reales del material. Esta norma define las etapas necesarias para obtener una muestra homogénea, evitando alteraciones en la granulometría, segregación de partículas o pérdidas de material durante el muestreo.

Asimismo, la norma específica los métodos de reducción de muestra, como el cuarteo, con el fin de obtener cantidades adecuadas para los diferentes ensayos físicos y mecánicos, garantizando la representatividad del agregado fino y grueso. El cumplimiento de este procedimiento es fundamental

para asegurar la validez y precisión de los resultados obtenidos en la caracterización de los agregados utilizados en la elaboración del concreto.

Para esta investigación se utilizó una muestra de 25 kg como mínimo para agregados grueso y 10 kg para agregado fino.

Tabla 5

Medidas de las muestras.

Tipo de agregado	Tamaño nominal del agregado	Masa mínima de muestra (kg)
Agregado fino	2,36 mm (Tamiz N° 8)	10
	4,75 mm (Tamiz N° 4)	10
	9,5 mm (3/8")	10
	12,5 mm (1/2")	15
	19,0 mm (3/4")	25
	25,0 mm (1")	50
Agregado grueso	37,5 mm (1 1/2")	75
	50,0 mm (2")	100
	63,0 mm (2 1/2")	125
	75,0 mm (3")	150
	90,0 mm (3 1/2")	175

Nota: Fuente: Tabla adaptada de la NTP 400.010-20

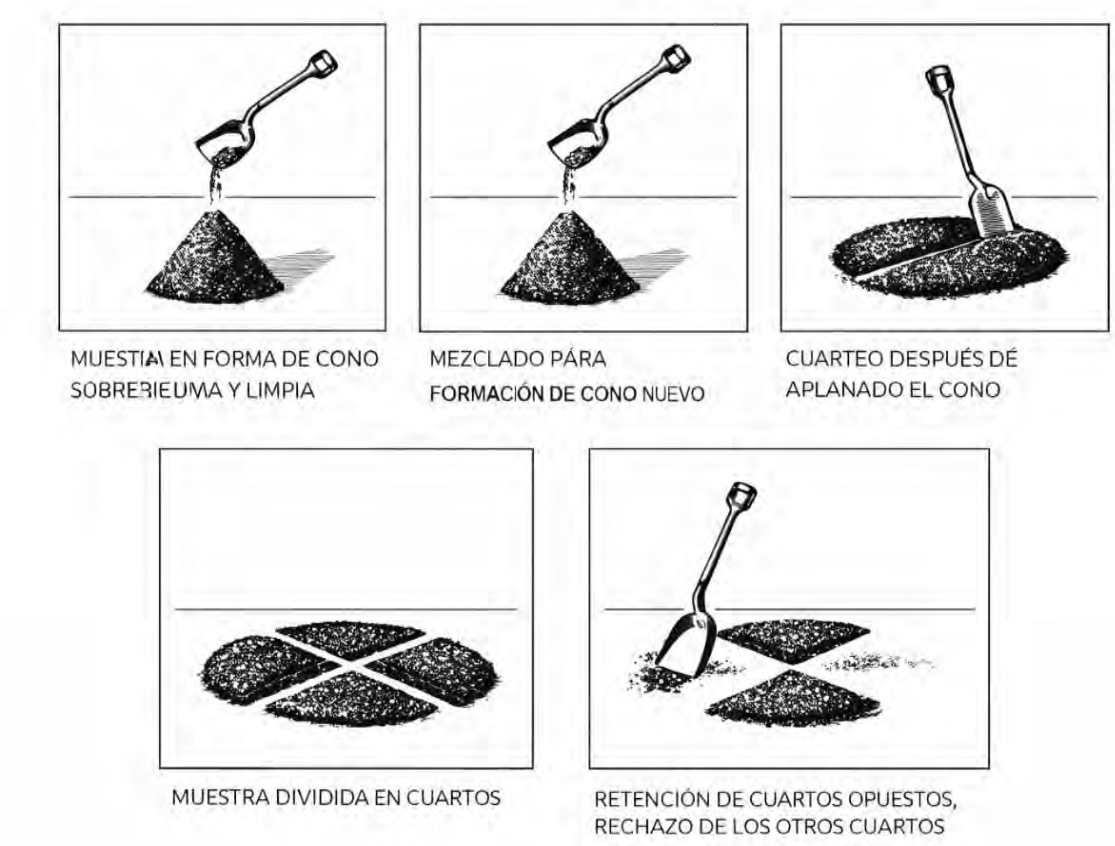
3.6.1.2. Método para reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayos (NTP 400.043-15)

El método para la reducción de muestras de agregados, establecido en la NTP 400.043-15, tiene como finalidad obtener una muestra representativa de menor tamaño a partir de una muestra mayor, sin alterar las características físicas y granulométricas del material original. Este procedimiento es fundamental para asegurar que los ensayos de laboratorio se realicen sobre porciones que reflejen adecuadamente las propiedades reales del agregado.

La norma contempla técnicas como el cuarteo manual y el uso de divisores mecánicos, las cuales permiten reducir progresivamente la muestra inicial hasta alcanzar la cantidad requerida para los diferentes ensayos, evitando la segregación de partículas y la pérdida de representatividad. La correcta aplicación de este método garantiza la confiabilidad de los resultados obtenidos en la caracterización de los agregados utilizados en la elaboración del concreto.

Figura 1

Cuarteo de agregados.



Nota: Reducción de la muestra mediante el cuarto. Fuente: Norma NTP 400.043-15

3.7. Características de los agregados

3.7.1. Agregado grueso

El agregado grueso empleado en la presente investigación corresponde a piedra chancada de tamaño nominal 3/4", proveniente de la cantera Vicho, ubicada en el distrito de San Salvador, en la región Cusco. Este material fue seleccionado debido a que cumple con los requisitos granulométricos y de calidad establecidos por la normativa técnica vigente, además de ser recomendado para la elaboración de concretos destinados a pavimentos rígidos, donde se requiere una adecuada rigidez y resistencia mecánica.

La piedra chancada de 3/4" es ampliamente utilizada en pavimentos rígidos, ya que permite una correcta distribución de esfuerzos, mejora la adherencia entre partículas y contribuye al incremento del módulo de elasticidad del concreto, favoreciendo el desempeño estructural de las losas. Asimismo, este tamaño de agregado facilita una adecuada compactación y reduce la demanda de pasta de cemento.

El agregado grueso de la cantera Vicho es de origen pétreo natural, obtenido a partir de la trituración mecánica de roca madre, lo que le confiere una forma angular y superficies rugosas. Estas

características favorecen una mejor adherencia con la pasta de cemento, influyendo positivamente en la resistencia, durabilidad y comportamiento estructural del concreto utilizado en pavimentos rígidos.

En la siguiente tabla se dará a conocer los ensayos que se hicieron para determinar las características que presenta este agregado.

Tabla 6

Ensayos realizados en el agregado grueso.

Norma NTP	Descripción del Ensayo
NTP 400.012-21	Análisis granulométrico del agregado grueso.
NTP 400.021-20	Determinación del peso específico y absorción del agregado gruesos.
NTP 400.017-20	Determinación del peso unitario y los vacíos del agregado grueso.
NTP 400.018-20	Determinación de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 por el método de lavado.
NTP 400.019-21	Resistencia al desgaste del agregado grueso, por abrasión e impacto, por medio de la máquina de Los Ángeles.
NTP 339.185-21	Determinación del contenido de humedad del agregado grueso

Nota: Fuente: Elaboración propia

3.7.1.2. Análisis granulométrico del agregado grueso

Según la norma NTP 400.012-21 la granulometría del agregado grueso es el ensayo que permite determinar la distribución de partículas según su tamaño mediante el uso de tamices. Su objetivo es verificar que el agregado cumpla con los límites establecidos por la normativa técnica, asegurando un adecuado comportamiento mecánico del concreto y una correcta interacción entre los componentes de la mezcla.

Instrumentos utilizados

- Juego de tamices (1 ½", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, cazuela).
- Balanza con una precisión de 0.1 g.
- Recipientes.
- Cucharon

Muestreo

Seleccionar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y reducir según la norma NTP 400.043-15 hasta la cantidad que pide este ensayo según la siguiente tabla.

Tabla 7

Cantidades mínimas de muestra de agregado grueso.

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO	MASA MÍNIMA DE MUESTRA
9,5 mm (3/8")	1 kg
12,5 mm (1/2")	2 kg
19,0 mm (3/4")	5 kg
25,0 mm (1")	10 kg
37,5 mm (1 1/2")	15 kg
50 mm (2")	20 kg
63 mm (2 1/2")	35 kg
75 mm (3")	60 kg
90 mm (3 1/2")	100 kg
100 mm (4")	150 kg
125 mm (5")	300 kg

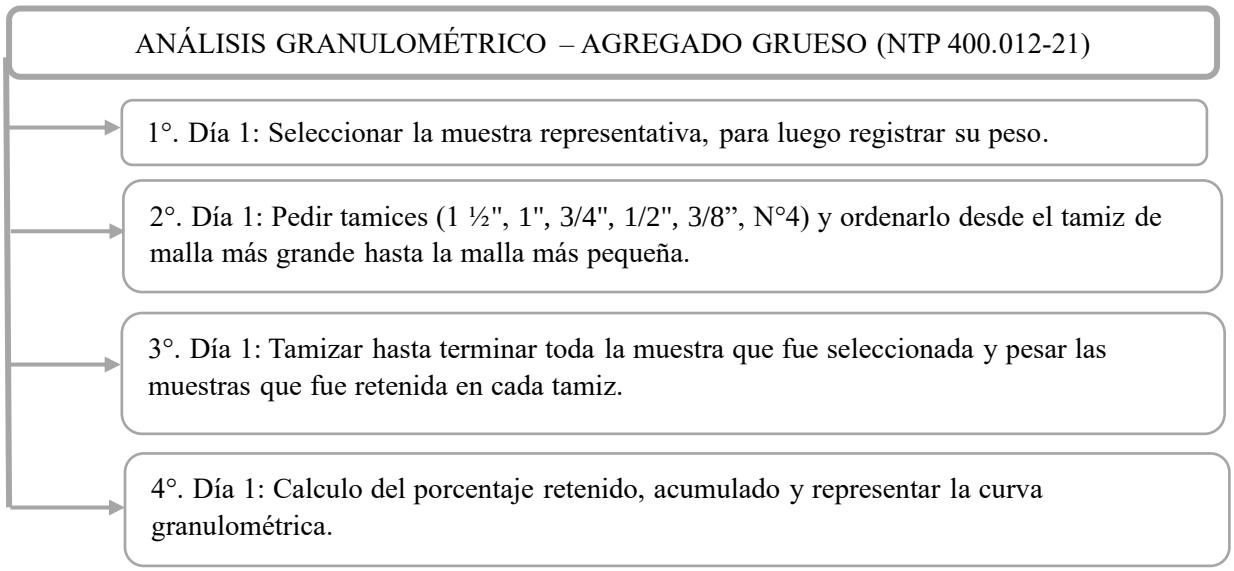
Nota: Fuente: Tabla adaptada de la NTP 400.012-21

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente .

Gráfico 2

Diagrama secuencial para determinar la granulometría del agregado grueso.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 1

Presentación del agregado grueso según su tamaño.



Nota: Clasificación del agregado grueso realizada mediante ensayo de granulometría por tamizado, conforme a la norma NTP 400.012 correspondiente. Fuente: elaboración propia.

3.7.1.3. Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso.

Este ensayo permite evaluar la relación entre la masa del agregado y su volumen, así como la cantidad de agua que este material es capaz de absorber. Estos parámetros son fundamentales para diseñar mezclas de concreto, ya que influyen directamente en el cálculo de las proporciones de los materiales, en la relación agua/cemento efectiva y en el comportamiento mecánico y la durabilidad del concreto.

Asimismo, la determinación de la gravedad específica y la absorción permite conocer las características físicas del agregado y corregir el contenido de agua de la mezcla cuando los agregados presentan diferentes condiciones de humedad. De esta manera, se logra un diseño de mezcla más preciso y se garantiza que el concreto alcance las propiedades mecánicas previstas. Además, estos resultados constituyen un control de calidad indispensable para asegurar la uniformidad y confiabilidad de los materiales empleados en la investigación.

Instrumentos utilizados

- Horno de secado (temperatura aproximada de 110°C± 5 °C)
- Balanza hidrostática
- Recipientes

Muestreo

Tomar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y que reducir la muestra según la norma NTP 400.043-15 hasta una cantidad de 2 kg según como muestra la siguiente tabla.

Tabla 8

Cantidades mínimas de muestras para el ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.

Masa del agregado grueso	
Tamaño máximo nominal del agregado	Masa mínima de la muestra
≤ 12,5 mm (1/2")	2 kg
19,0 mm (3/4")	3 kg
25,0 mm (1")	4 kg
37,5 mm (1 1/2")	5 kg
50,0 mm (2")	8 kg
63,0 mm (2 1/2")	12 kg
75,0 mm (3")	18 kg

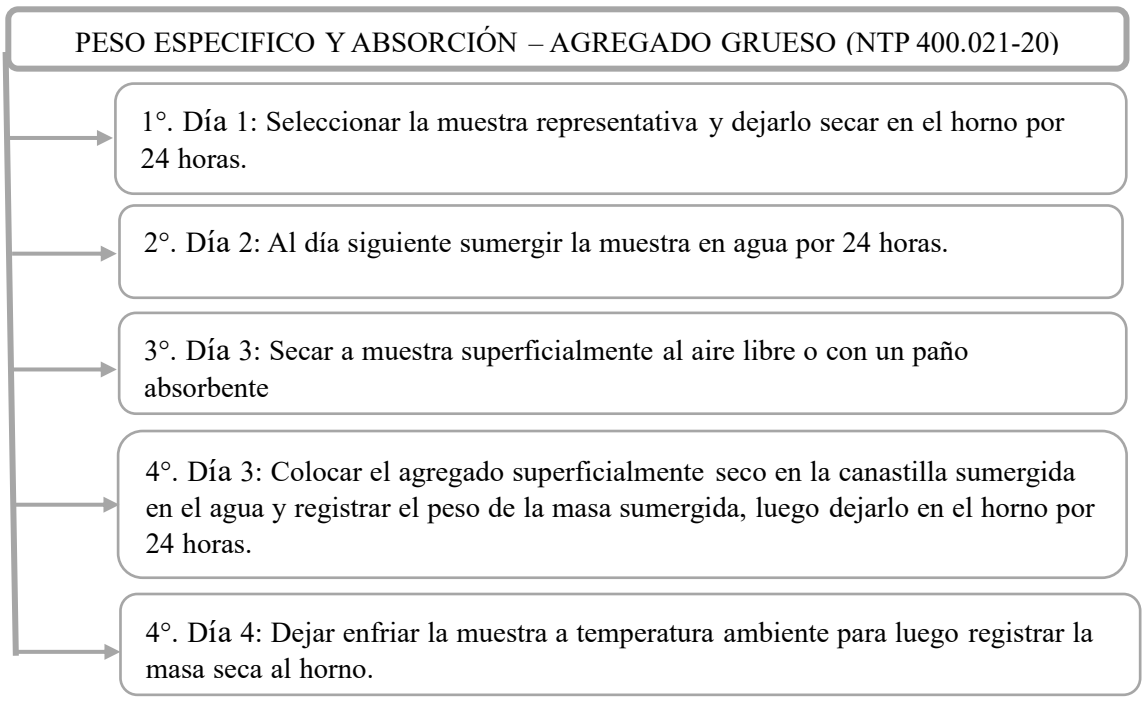
Nota: Fuente: Adaptado de la norma NTP 400.022-21.

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente grafico.

Gráfico 3

Diagrama secuencial para determinar el peso específico y absorción del agregado grueso.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Se determino el peso específico y absorción del agregado grueso usando las siguientes formulas:

Ecuación: Peso específico de masa del agregado grueso

$$P_{em} = \frac{P_s}{P_{sss} - P_{sa}}$$

Ecuación: Absorción del agregado grueso

$$\%Abs = \frac{P_{sss} - P_s}{P_s}$$

Donde:

Ps = Masa de la muestra seca en el horno (g).

Psss= Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).

Pas = Masa de la muestra saturada en el agua (g).

Fotografía 2

Registro del peso del agregado grueso fuera y dentro del agua.



Nota: Fuente: Elaboración propia

3.7.1.4. Determinación del peso unitario y los vacíos del agregado grueso.

Este ensayo que permite evaluar la relación entre la masa del agregado y el volumen que ocupa en el molde, considerando los espacios vacíos existentes entre sus partículas. Este ensayo proporciona información fundamental para el diseño de mezclas de concreto, ya que el contenido de vacíos influye directamente en la cantidad de pasta necesaria para lograr una adecuada compactación, trabajabilidad y desempeño mecánico del concreto.

Instrumentos utilizados

- Balanza con una precisión de 0,1 g.
- Varilla de apisonado de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud.
- Molde de metal
- Cucharon
- Balanza con una precisión de 0,1 g.
- Pocillos

Muestreo

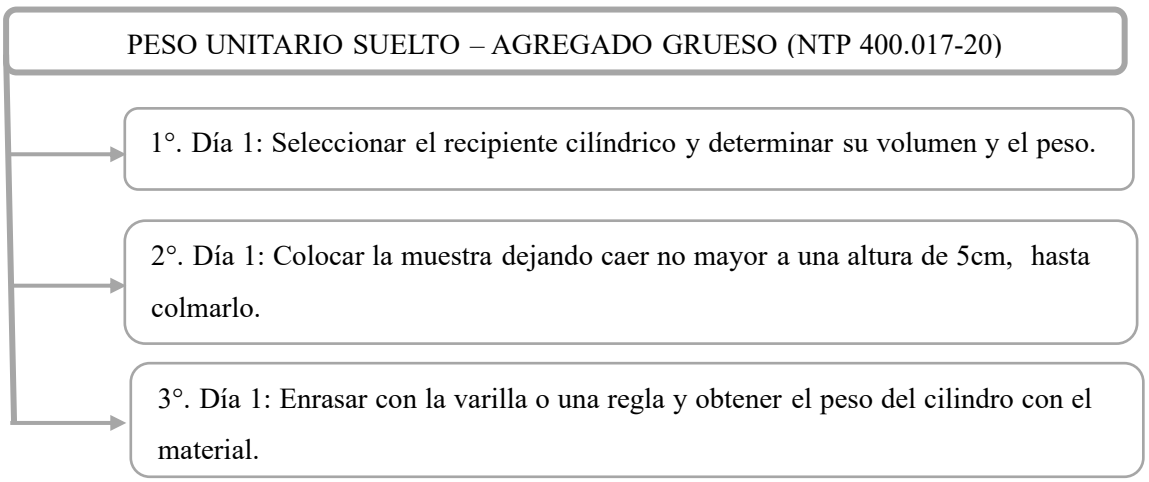
Seleccionar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y hacer el cuarteo para reducir a la cantidad que se necesita según la norma NTP 400.043-15 hasta la cantidad que se requiere para realizar el ensayo (del 125% al 200% de la cantidad requerida para llenar el recipiente).

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente grafico.

Gráfico 4

Diagrama secuencial para determinar el peso unitario suelto del agregado grueso.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se usa la siguiente ecuación para determinar el peso unitario suelto.

Ecuación: Peso unitario suelto seco del agregado grueso

$$P_{USS} = \frac{P_{m+r} - p_r}{V_r}$$

Donde:

Puss = Peso unitario suelto seco (kg/m³).

Pm+r= Masa seca de la muestra más recipiente (kg).

Pr = Masa del recipiente (kg).

Vr = Volumen del recipiente (m³).

Fotografía 3

Registro de peso del molde más la muestra del peso unitario suelto.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente grafico.

Gráfico 5

Diagrama secuencial para determinar el peso unitario compactado del agregado grueso.

PESO UNITARIO COMPACTADO – AGREGADO GRUESO (NTP 400.017-20)

- 1°. Día 1: Seleccionar el recipiente cilíndrico y determinar su volumen y el peso.
- 2°. Día 1: Colocar la muestra en tres capas aproximadamente que sean iguales hasta que este colmada, donde en cada capa se apisonara con una varilla a 25 golpes.
- 3°. Día 1: Enrasar con la varilla o una regla y obtener el peso del cilindro con el material.

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Ecuación: Peso unitario compactado seco del agregado grueso

$$P_{ucs} = \frac{P_{m+r} - p_r}{V_r}$$

Donde:

Pucs = Peso unitario compactado seco (kg/m³).

Pm+r= Masa seca de la muestra más recipiente (kg).

Pr = Masa del recipiente (kg).

Vr = Volumen del recipiente (m³).

Fotografía 4

Registro de peso del molde más la muestra del peso unitario compactado.



Nota: Fuente: Elaboración propia

3.7.1.5. Determinación de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 por el método de lavado.

El ensayo tiene como finalidad cuantificar el contenido de partículas muy finas presentes en los agregados, tales como limos, arcillas y polvo, que no pueden ser evaluadas con precisión únicamente mediante el análisis granulométrico en seco.

Este procedimiento permite separar, por acción del lavado con agua, las partículas finas adheridas a los granos del agregado, facilitando su eliminación y posterior medición. La información obtenida es fundamental para evaluar la limpieza y calidad del agregado, ya que un contenido excesivo de material fino puede afectar negativamente la adherencia pasta–agregado, la trabajabilidad del concreto, el desarrollo de resistencia mecánica y su durabilidad.

Podemos decir que este ensayo constituye una herramienta esencial para verificar el cumplimiento de los límites establecidos por la normativa técnica y asegurar que los agregados sean aptos para su uso en la elaboración de concreto estructural y pavimentos rígidos.

Instrumentos utilizados

- Tamiz normalizado N.º 200 (75 µm) y tamiz normalizado N° 16 (1,18 mm).
- Recipiente adecuado para el lavado de la muestra.
- Balanza con una precisión de 0,1 g.

- Horno para secado (temperatura aproximada de 110°C± 5 °C)
- Bandejas o recipientes auxiliares para manipulación del material.

Muestreo

Seleccionar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y hacer el cuarteo para reducir a la cantidad que se necesita según la norma NTP 400.043-15 hasta la cantidad que requiere este ensayo según la siguiente tabla.

Tabla 9

Cantidad mínima de muestra requerida según el tamaño máximo nominal.

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima de muestra (g)
≤ 4,75 mm (Tamiz N.º 4)	300
9,5 mm (3/8")	1 000
19,0 mm (3/4")	2 500
≥ 37,5 mm (1 1/2")	5 000

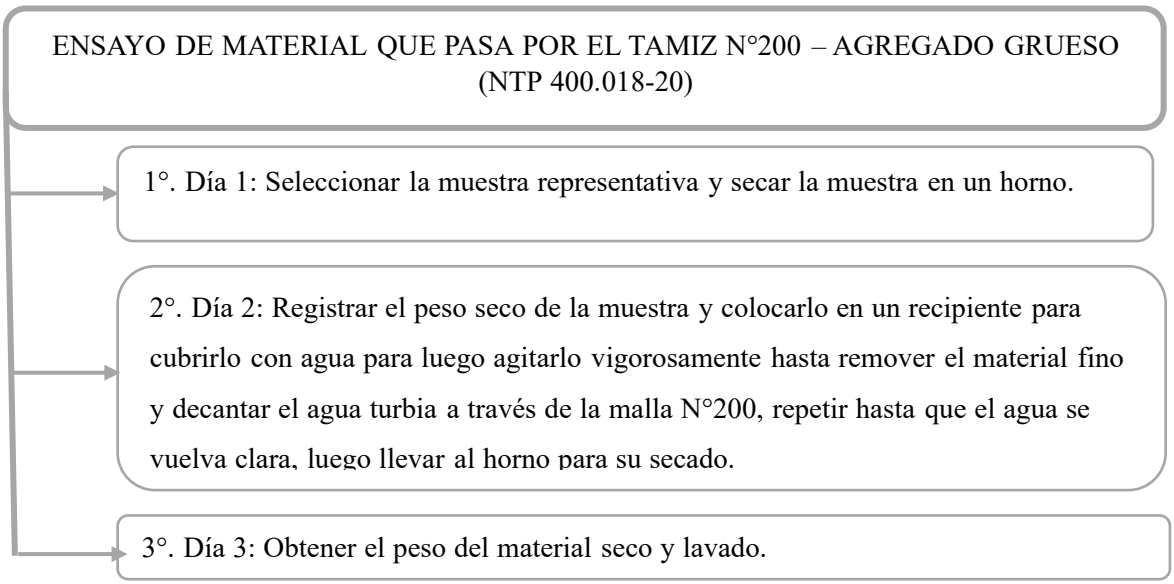
Nota: Fuente: Adaptado de la norma NTP 400.018-20

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente grafico.

Gráfico 6

Diagrama secuencial para determinar la cantidad de material que pasa por el tamiz N° 200 del agregado grueso.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 5

Lavado de agregado mediante la malla 200.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.6. Resistencia al desgaste del agregado grueso, por abrasión e impacto, por medio de la máquina de Los Ángeles.

Este ensayo tiene como objetivo evaluar la capacidad del agregado para resistir la abrasión, el impacto y la fragmentación, producidos por la acción combinada de cargas mecánicas y fricción. Este ensayo simula las condiciones de desgaste a las que los agregados están sometidos durante la vida útil de una estructura o pavimento.

Instrumentos utilizados

- Máquina de Los Ángeles.
- Carga abrasiva (esferas entre 46 y 48 mm de diámetro y de 390 a 455 g de peso.
- Tamiz normalizado N° 12.
- Balanza con una precisión de 0,1 g.
- Recipientes y bandeja.
- Cucharon.
- Horno para secado (temperatura aproximada de 110°C± 5 °C)

Muestreo

Debemos seleccionar la muestra necesaria según como indiaca la norma NTP 400.010-20 y hacer el cuarteo para reducir la muestra hasta la cantidad que se necesita según la norma NTP 400.043-15, para luego separar según la siguiente tabla.

Tabla 10

Distribución de masa de la muestra por intervalos de tamiz según gradación.

Medida del tamiz		Masa de tamaño indicado (g)			
		Gradación			
Que pasa	**Retenido sobre**	**A**	**B**	**C**	**D**
37,5 mm (11/2'')	25 mm (1'')	1 250 ± 25	—	—	—
25,0 mm (1'')	19 mm (3/4'')	1 250 ± 25	—	—	—
19,0 mm (3/4'')	12,5 mm (1/2'')	1 250 ± 10	2 500 ± 10	—	—
12,5 mm (1/2'')	9,5 mm (3/8'')	1 250 ± 10	2 500 ± 10	—	—
9,5 mm (3/8'')	6,3 mm (1/4'')	—	—	2 500 ± 10	—
6,3 mm (1/4'')	4,75 mm (N°4)	—	—	2 500 ± 10	—
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	—	—	—	5 000 ± 10
Masa total de la muestra		5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

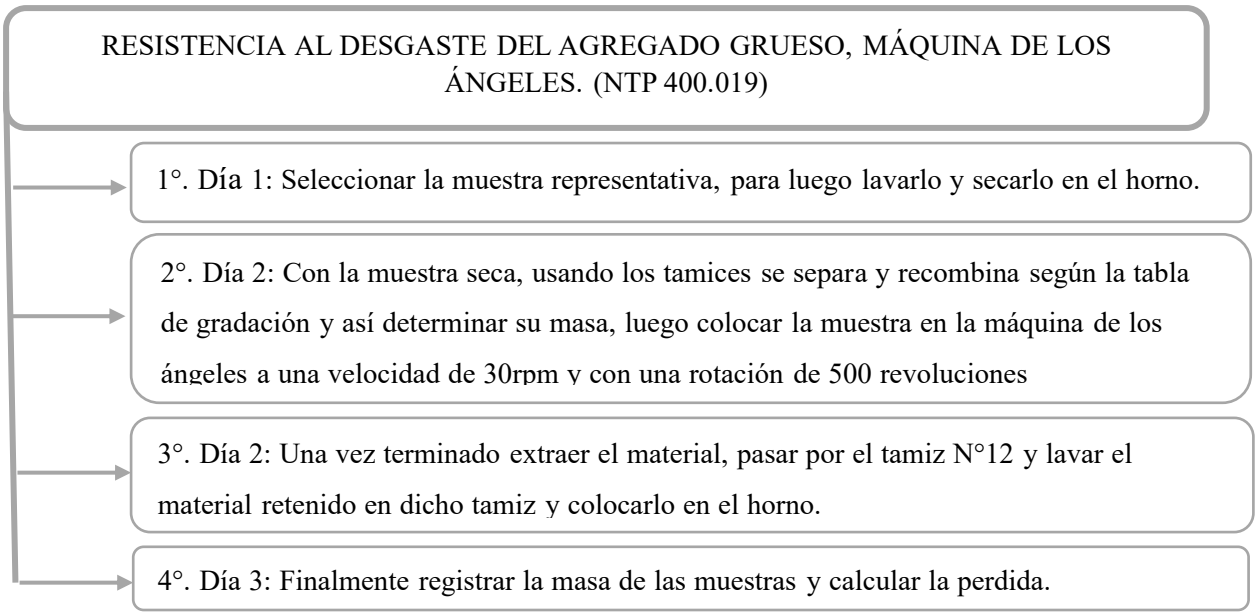
Nota: Fuente: Adaptado de la norma NTP 400.019-21

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente gráfico.

Gráfico 7

Diagrama secuencial para determinar el desgaste del agregado grueso mediante la máquina de los ángeles.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.7.1.7. Determinación del contenido de humedad del agregado grueso.

El contenido de humedad del agregado grueso es un ensayo que permite cuantificar la cantidad de agua presente en las partículas del agregado en relación con su peso seco. Este procedimiento tiene como finalidad conocer el estado real del agregado al momento de su utilización, ya que la humedad superficial influye directamente en la dosificación del agua de la mezcla y, por tanto, en la relación agua/cemento del concreto.

Instrumentos utilizados

- Balanza con una precisión de 0,1 g.
- Recipientes y cucharones.
- Horno para secado (temperatura aproximada de 110°C± 5 °C)

Muestreo

Seleccionar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y hacer el cuarteo para reducir a la cantidad que se necesita según la norma NTP 400.043-15 hasta la cantidad que se requiere para realizar el ensayo según la siguiente tabla.

Tabla 11

Masa mínima requerida de la muestra del agregado.

Tamaño máximo nominal del agregado	Masa mínima de la muestra (kg)
4,75 mm (Tamiz N.° 4)	0,5
9,5 mm (3/8")	1,5
12,5 mm (1/2")	2,0
19,0 mm (3/4")	3,0
25,0 mm (1")	4,0
37,5 mm (1 1/2")	6,0
50,0 mm (2")	8,0
63,0 mm (2 1/2")	10,0
75,0 mm (3")	13,0

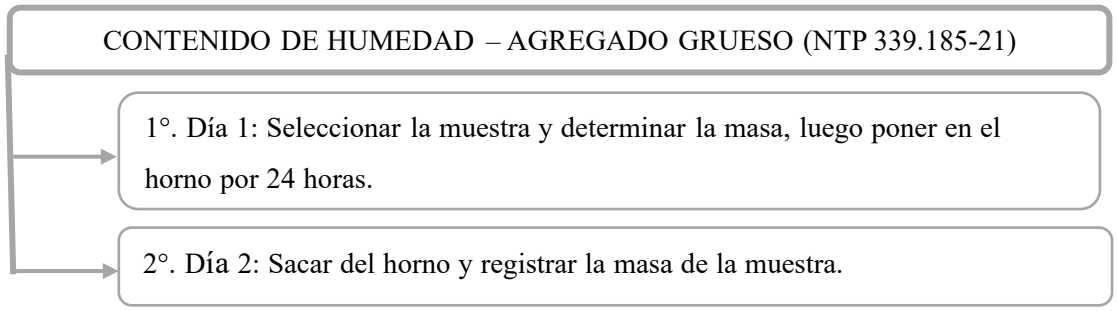
Nota: Fuente: Adaptado de la norma NTP 339.185-21

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente gráfico.

Gráfico 8

Diagrama secuencial para determinar el contenido de humedad del agregado grueso.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Luego calcular el contenido de humedad mediante la siguiente ecuación.

$$\%H = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Donde:

%H = Contenido de humedad (%).

P_i = Masa de la muestra natural (g).

P_f = Masa de la muestra seca (g).

3.7.2. Agregado fino

El agregado fino utilizado en el estudio proviene de la cantera Cunyac, y está constituido por material granular de origen natural. Este agregado cumple con los requisitos granulométricos establecidos por la normativa vigente y fue seleccionado por su adecuada gradación y que se podría considerar como un material limpio ya que contiene menor cantidad de impurezas.

El uso del agregado fino de la cantera Cunyac permite mejorar la trabajabilidad y cohesión de la mezcla de concreto, facilitando una adecuada compactación y contribuyendo al desempeño mecánico del concreto empleado en pavimentos rígidos.

En la siguiente tabla se dará a conocer los ensayos realizados para el agregado fino.

Tabla 12

Ensayos realizados en el agregado fino.

Norma NTP	Descripción del Ensayo
NTP 400.012-21	Análisis granulométrico del agregado fino.
NTP 400.022-21	Determinación del peso específico y absorción del agregado fino.
NTP 400.017-20	Determinación del peso unitario y los vacíos del agregado fino.
NTP 400.018-20	Determinación de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 por el método de lavado.
NTP 339.185-21	Determinación del contenido de humedad del agregado fino.

Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.7.2.1. Análisis granulométrico del agregado fino.

Según la norma NTP 400.012-21 el análisis granulométrico del agregado fino consiste en conocer la distribución según el tamaño de las partículas que lo componen, mediante el uso de una serie de tamices normalizados. Este procedimiento permite clasificar el material según su gradación, identificando si cumple con los rangos establecidos para su uso en concreto. La curva granulométrica obtenida es fundamental para evaluar la trabajabilidad, cohesión y comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido, siendo clave en el diseño de mezclas para pavimentos rígidos.

Instrumentos utilizados

- Juego de tamices (3/8", N°4", N°8", N°16", N°30", N°50, N°100, N°200, cazuela).
- Balanza con una precisión de 0,1 g.
- Recipientes.
- Cucharon

Muestreo

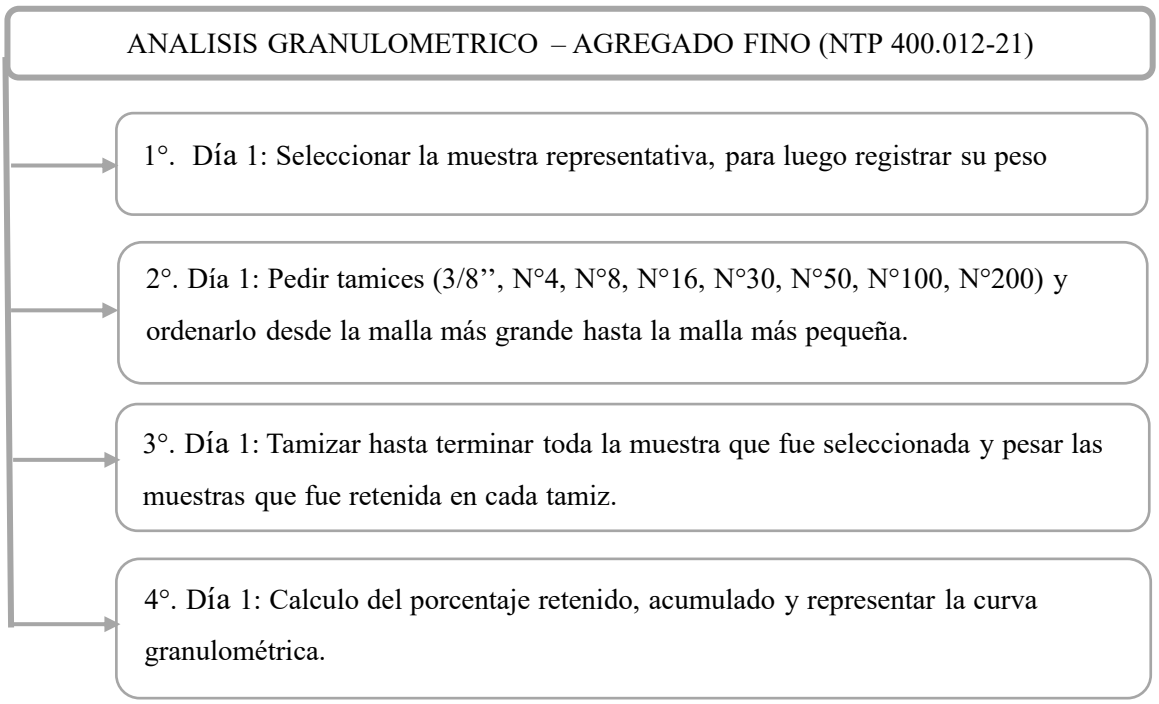
Seleccionar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y reducir según la norma NTP 400.043-15 ya que como mínimo este ensayo pide 300g.

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente gráfico.

Gráfico 9

Diagrama secuencial para determinar la granulometría del agregado fino.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Para hallar el módulo de fineza se emplea la siguiente ecuación.

Ecuación: módulo de fineza del agregado fino.

$$MF = \frac{\%N°100 + \%N°50 + \%N°30 + \%N°16 + \%N°8 + \%N°4 + \%3}{100}$$

Donde:

%N° = Cantidad de material que retiene cada tamiz.

Fotografía 6

Presentación del agregado fino según su tamaño.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.7.2.2. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino.

Este ensayo que permite evaluar la relación entre la masa del agregado y su volumen, así como la cantidad de agua que este material es capaz de absorber. Estos parámetros son fundamentales para el diseño de mezclas de concreto, ya que influye en la relación a/c.

Instrumentos utilizados

- Balanza con una precisión de 0,1 g.
- Molde cónico y varilla apisonadora.
- Bandeja
- Picnómetro
- Gotero
- Cucharon
- Pocillos

Muestreo

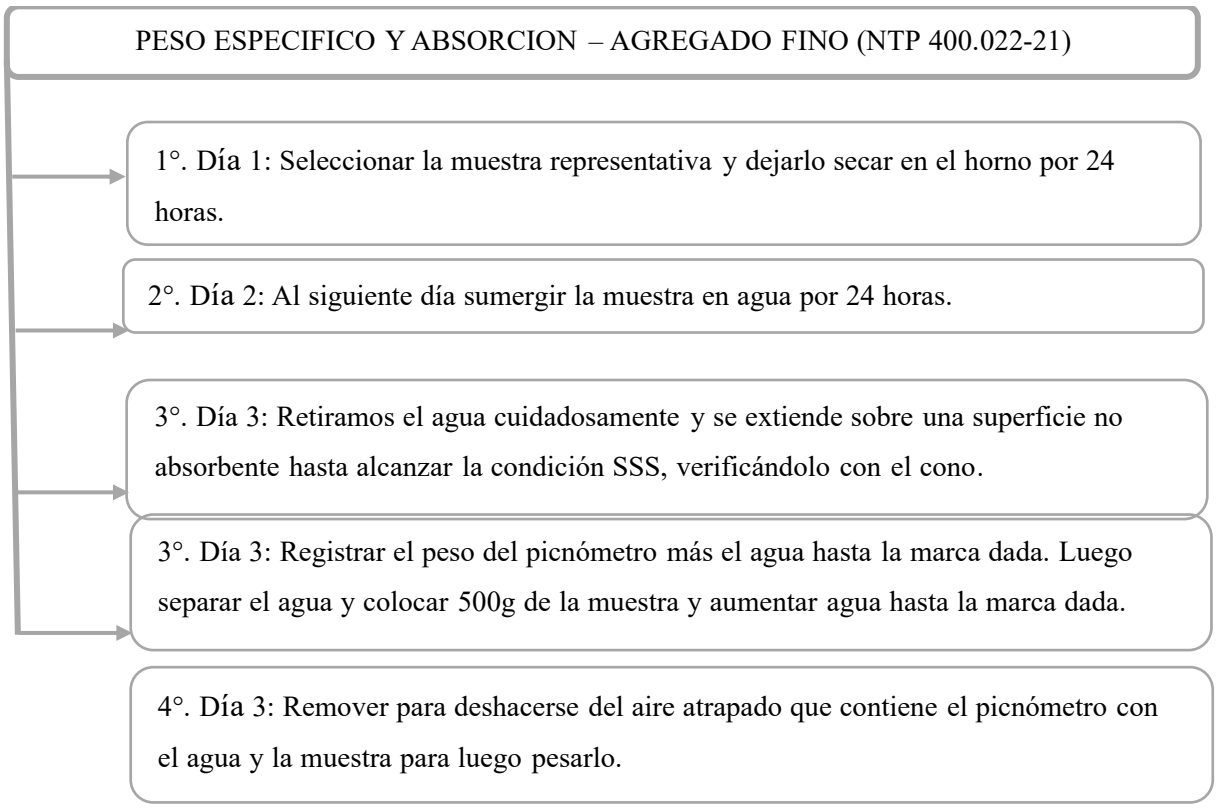
Tomar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y que reducir la muestra según la norma NTP 400.043-15 hasta una cantidad de 1000 g según la norma NTP 400.022-21.

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente gráfico.

Gráfico 10

Diagrama secuencial para determinar el peso específico y absorción del agregado fino.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Se determino el peso específico y absorción del agregado grueso usando las siguientes formulas:

Ecuación: Peso específico de masa del agregado grueso

$$P_{em} = \frac{P_s}{P_{p+a} + P_{sss} - P_{m+p+a}}$$

Ecuación: Absorción del agregado grueso

$$\%Abs = \frac{P_{sss} - P_s}{P_s}$$

Donde:

Ps = Masa de la muestra seca en el horno (g).

Psss= Masa de la muestra saturada superficialmente seca (g).

Pp+a = Masa del picnómetro + agua (g).

Pm+p+a = Masa de la muestra + picnómetro + agua (g).

Fotografía 7

Preparación y registro del peso de la muestra.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 8

Llenado del picnómetro con muestra y agua, y registro de su peso.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.7.2.3. Determinación del peso unitario y los vacíos del agregado fino.

En este ensayo se evalúa la relación entre la masa del agregado y el volumen que ocupa, ya que se considera los espacios vacíos existentes entre sus partículas. Este ensayo proporciona información fundamental para el diseño de concreto, ya que influye bastante en la cantidad de la pasta de cemento.

Instrumentos utilizados

- Balanza con una precisión de 0,1 g.
- Varilla de apisonado de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud.
- Molde de metal
- Cucharon
- Pocillos
- Bandeja.

Muestreo

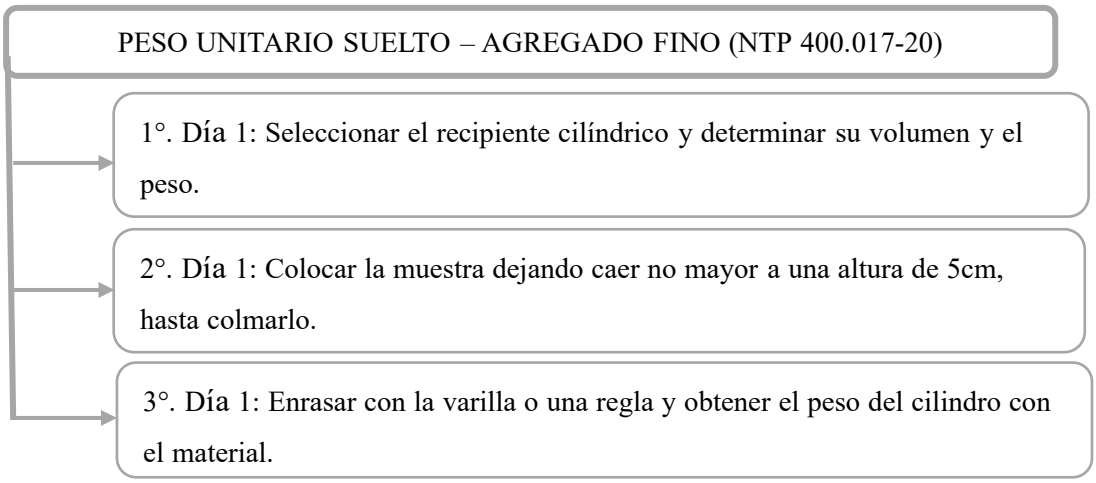
Seleccionar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y hacer el cuarteo para reducir a la cantidad que se necesita según la norma NTP 400.043-15 hasta la cantidad que se requiere para realizar el ensayo ya que este ensayo requiere del 125% al 200% de la cantidad para llenar el molde de metal según la norma NTP 400.017-20.

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente diagrama.

Gráfico 11

Diagrama secuencial para determinar el peso unitario suelto del agregado fino.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se usa la siguiente ecuación para determinar el peso unitario suelto.

Ecuación: Peso unitario suelto seco del agregado fino.

$$P_{Uss} = \frac{P_{m+r} - p_r}{V_r}$$

Donde:

Puss = Peso unitario suelto seco (kg/m³).

Pm+r= Masa seca de la muestra más recipiente (kg).

Pr = Masa del recipiente (kg).

Vr = Volumen del recipiente (m³).

Fotografía 9

Molde de metal con agregado fino suelto.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 10

Registro de peso del molde más la muestra del peso unitario suelto.



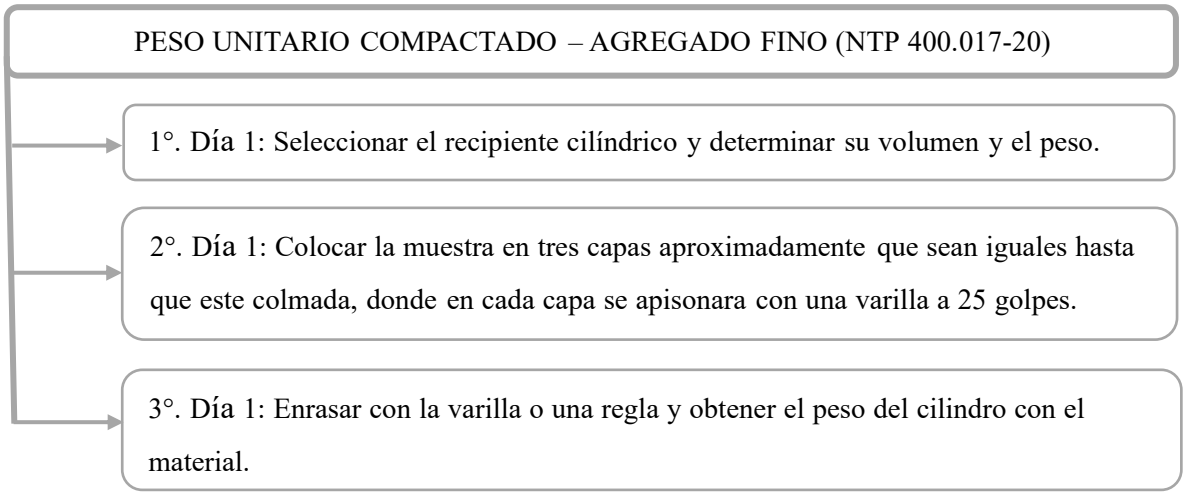
Nota: Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente gráfico.

Gráfico 12

Diagrama secuencial para determinar el peso unitario compactado del agregado fino.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Después usaremos la siguiente ecuación para hallar el peso unitario compactado.

Ecuación: Peso unitario compactado seco del agregado fino

$$P_{ucs} = \frac{P_{m+r} - p_r}{V_r}$$

Donde:

Pucs = Peso unitario compactado seco (kg/m³).

Pm+r= Masa seca de la muestra más recipiente (kg).

Pr = Masa del recipiente (kg).

Vr = Volumen del recipiente (m³).

Fotografía 11

Molde de metal con agregado fino compactado.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Fotografía 12

Registro de peso del molde más la muestra del peso unitario compactado.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.7.2.4. Determinación de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 por el método de lavado.

Este ensayo permite determinar el porcentaje de material muy fino presente en el agregado fino que pasa el tamiz N.° 200 (0,075 mm), mediante un proceso de lavado con agua. Su finalidad es identificar la presencia de partículas como limo o polvo, las cuales pueden afectar la adherencia pasta–agregado, la trabajabilidad y el desempeño mecánico del concreto.

Asimismo, este ensayo permite verificar que el contenido de material fino se encuentre dentro de los límites establecidos por las normas técnicas vigentes, asegurando la calidad del agregado para su utilización en mezclas de concreto. Un exceso de partículas finas puede incrementar la demanda de agua, modificar la relación agua/cemento efectiva y disminuir la resistencia y durabilidad del concreto. Por ello, su determinación constituye un control de calidad indispensable para garantizar un adecuado comportamiento del concreto tanto en estado fresco como endurecido.

Instrumentos utilizados

- Tamiz normalizado N.º 200 (75 µm) y tamiz normalizado N° 16 (1,18 mm).
- Recipiente adecuado para el lavado de la muestra.
- Fuente de agua limpia.
- Balanza con una precisión de 0,1 g.
- Horno para secado (temperatura aproximada de 110°C± 5 °C)
- Bandejas o recipientes auxiliares para manipulación del material.

Muestreo

Seleccionar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y hacer el cuarteo para reducir a la cantidad que se necesita según la norma NTP 400.043-15 hasta la cantidad que requiere este ensayo según la siguiente tabla.

Tabla 13

Cantidad mínima de muestra requerida según el tamaño máximo nominal.

Tamaño máximo nominal del agregado	Cantidad mínima de muestra (g)
≤ 4,75 mm (Tamiz N.º 4)	300
9,5 mm (3/8")	1 000
19,0 mm (3/4")	2 500
≥ 37,5 mm (1 1/2")	5 000

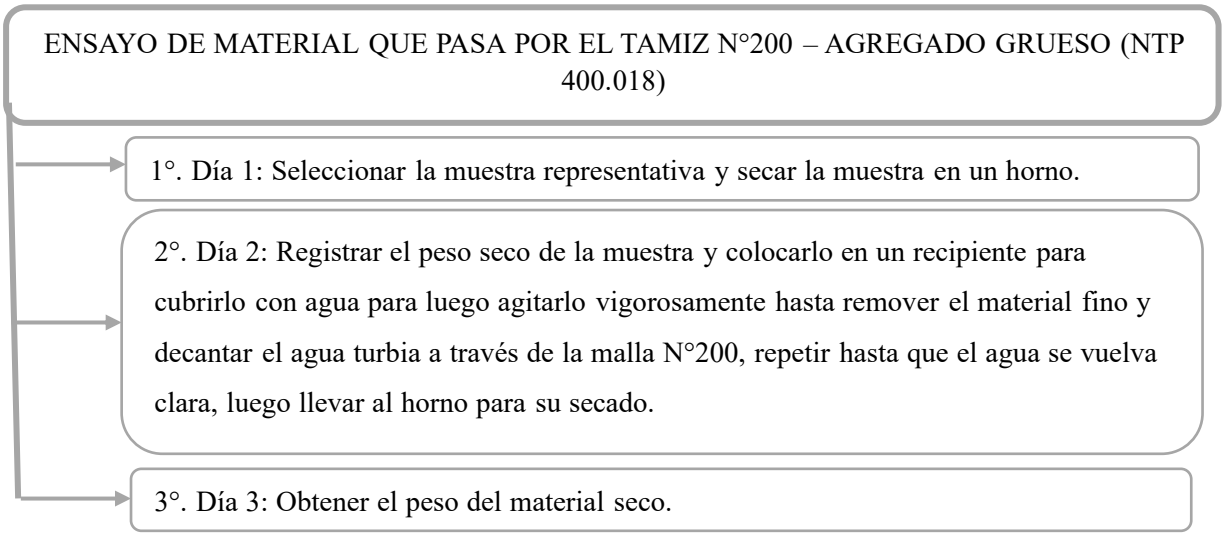
Nota: Fuente: Adaptado de la norma NTP 400.018-20.

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente gráfico.

Gráfico 13

Diagrama secuencial para determinar la cantidad de material que asa por el tamiz N° 200 del agregado fino.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Finalmente utilizar la siguiente ecuación para hallar el porcentaje de material fino que posee la muestra.

Ecuación: Porcentaje de material fino que pasa por el tamiz N°200 mediante lavado.

$$\%P_f = \frac{P_n - P_l}{P_n} \times 100$$

- Donde:
- Pf% = Porcentaje de material fino que pasa el tamiz 75 µm (N°200) por lavado.
- Pn = Masa de la muestra natural (g).
- Pl = Masa de la muestra lavada (g)

Fotografía 13

Lavado del material fino y registro del peso del material que queda.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

3.7.2.5. Determinación del contenido de humedad del agregado fino.

Este ensayo tiene como finalidad determinar la cantidad de agua presente en el agregado fino en su estado natural. El contenido de humedad influye directamente en la relación agua–cemento del concreto, por lo que su control es fundamental para garantizar la consistencia, resistencia y durabilidad de la mezcla.

Instrumentos utilizados

Balanza con una precisión de 0,1 g.

- Recipientes.
- Cucharon.
- Horno para secado (temperatura aproximada de 110°C± 5 °C)

Muestreo

Seleccionar la muestra según la norma NTP 400.010-20 y hacer el cuarteo para reducir a la cantidad que se necesita según la norma NTP 400.043-15 hasta la cantidad que se requiere para realizar el ensayo según la siguiente tabla.

Tabla 14

Masa mínima requerida de la muestra del agregado.

Tamaño máximo nominal del agregado	Masa mínima de la muestra (kg)
4,75 mm (Tamiz N.° 4)	0,5
9,5 mm (3/8")	1,5
12,5 mm (1/2")	2,0
19,0 mm (3/4")	3,0
25,0 mm (1")	4,0
37,5 mm (1 1/2")	6,0
50,0 mm (2")	8,0
63,0 mm (2 1/2")	10,0
75,0 mm (3")	13,0

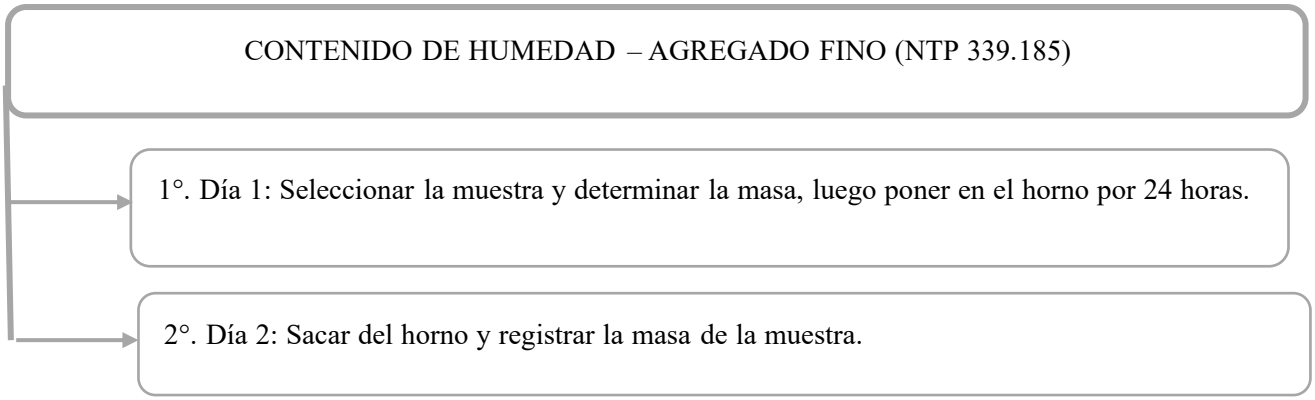
Nota: Fuente: Adaptado de la norma NTP 339.183-18.

Procedimiento

El procedimiento se mostrará a continuación en el siguiente gráfico.

Gráfico 14

Diagrama secuencial para determinar el contenido de humedad del agregado fino.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Luego calcular el contenido de humedad mediante la siguiente formula.

$$\%H = \frac{P_i - P_f}{P_f} \times 100$$

Donde:

%H = Contenido de humedad (%).

P_i = Masa de la muestra natural (g).

P_f = Masa de la muestra seca (g).

3.8. Diseño de mezclas de concreto

El diseño de mezclas de concreto es el procedimiento mediante el cual se seleccionan y proporcionan los componentes del concreto para obtener una mezcla que cumpla con los requisitos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad establecidos para la obra (ACI Comité 211.1-2022).

Este proceso considera las propiedades de los materiales constituyentes, como el cemento, los agregados, el agua y los aditivos, con el fin de determinar las proporciones más adecuadas de cada uno. Un diseño de mezcla adecuado permite optimizar el desempeño del concreto tanto en estado fresco como endurecido, garantizando que alcance las propiedades mecánicas requeridas y un comportamiento satisfactorio durante su vida útil. Asimismo, contribuye a la uniformidad de la mezcla y al aprovechamiento eficiente de los materiales empleados.

El diseño de mezclas constituye una etapa fundamental dentro de la tecnología del concreto, ya que de su correcta dosificación dependen las propiedades finales del material. Para ello, es necesario considerar aspectos como la resistencia de diseño, el tamaño máximo nominal del agregado, el asentamiento requerido, las condiciones de exposición y las características físicas de los materiales utilizados.

En la presente investigación, el diseño de mezclas se realizó siguiendo el procedimiento establecido por el método ACI 211.1, considerando la variación de la relación agua/cemento y del

porcentaje de microsílice como variables independientes. Esto permitió obtener diferentes diseños experimentales para evaluar su influencia sobre el módulo de elasticidad del concreto e identificar la combinación de factores que proporciona el mejor desempeño mecánico para su aplicación en pavimentos rígidos.

3.8.1. Metodología de diseño ACI 211.1-22

La metodología ACI 211.1-22 es un procedimiento técnico que permite determinar las proporciones adecuadas de los materiales del concreto para cumplir con los requisitos de resistencia, trabajabilidad y durabilidad establecidos para una determinada aplicación. Este método se basa en las propiedades de los materiales disponibles y en las condiciones de servicio de la estructura, permitiendo obtener mezclas con un desempeño adecuado y uniforme.

Su aplicación en pavimentos rígidos garantiza mezclas confiables, ya que considera parámetros como la resistencia de diseño, la relación agua/cemento, el tamaño máximo nominal del agregado, el asentamiento y el contenido de aire. Asimismo, proporciona una secuencia ordenada de cálculos que facilita el diseño y la dosificación del concreto.

A continuación, se muestra la aplicación de esta metodología paso a paso:

1) Establece los requisitos del concreto, teniendo bien claro para qué se elaborará el concreto.
2) Para este paso se requiere conocer el tamaño máximo nominal del agregado, el *slump* deseado y si el concreto tendrá aire incorporado o no, de acuerdo con las propiedades que necesita la estructura.

Tabla 15

Rango recomendado de asentamiento (slump) según el tipo de elemento estructural.

Elemento estructural	Asentamiento máximo (in)	Asentamiento mínimo (in)
Zapatas y muros de cimentación	3	1
Cimentaciones simples	3	1
Vigas y muros	4	1
Columnas	4	2
Muros y pavimentos	3	1
Concreto ciclópeo	2	1

Nota: Fuente: Tomado del manual de carreteras EG 2013.

3) Una vez teniendo claro los datos anteriores podremos hallar la cantidad de agua que se necesitara y la cantidad de aire atrapado en el concreto, utilizando la tabla 16.

Tabla 16

Contenido aproximado de agua y aire para mezclas de concreto.

REQUISITOS APROXIMADOS DE CONTENIDO DE AGUA Y AIRE DE LA MEZCLA PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADOS

	Agua, Kg/m3 de hormigón para tamaños nominales máximos de árido indicados						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1-1/2"	2"	3"
Slump	9,5 mm	12,5 mm	19,00 mm	25,0 mm	37,50 mm	50 mm	75,0 mm
	Concreto sin aire incorporado						
2,5 cm - 5,0 cm / 1" - 2"	208	199	187	178	166	154	130
7,5 cm - 10,0 cm / 3" - 4"	228	217	202	193	181	169	145
10,0 cm - 15,0 cm / 5" - 6"	237	222	208	196	181	172	151
15,0 cm - 17,5 cm / 6" - 7"	243	228	214	202	190	178	160
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado, porcentaje	3	2.5	2	1,5	1	0.5	0.3
	Concreto con aire incorporado						
2,5 cm - 5,0 cm / 1" - 2"	181	175	168	160	148	142	122
7,5 cm - 10,0 cm / 3" - 4"	202	193	181	175	160	157	133
10,0 cm - 15,0 cm / 5" - 6"	211	199	187	178	166	160	142
1,0 cm - 17,5 cm / 6" - 7"	217	205	193	184	172	166	154
	Porcentaje recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)						
Exposición Ligera	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5
Exposición Moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5
Exposición Severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5

Nota: Fuente: Adaptado del ACI 211.1-22.

4) Seguidamente necesitaremos la relación agua cemento, ya no necesitamos calcularlo de ninguna tabla ya que en esta tesis trabajaremos con tres relaciones a/c (0,60; 0,50; 0,40), entonces ya tenemos como dato la relación agua cemento.

5) **C**alcular la cantidad de cemento necesaria utilizando la relación agua/cemento y la cantidad de agua estimada, asegurando que se cumplan los requisitos de resistencia y durabilidad, mediante la siguiente ecuación:

   Ecuación: Cálculo de la cantidad de cemento

$$c_c = \frac{V_a}{a/c}$$

   Donde:

   Cc: Cantidad de cemento.

   Va: volumen de agua.

   a/c: Relación agua cemento.

6) **S**e utiliza la siguiente tabla para determinar la cantidad de agregado grueso en volumen para un metro cubico, en función del tamaño máximo y la densidad del agregado grueso.

Tabla 17

Cálculo de agregado grueso por metro cuadrado.

Volumen de agregado grueso (m³) por volumen unitario de concreto				
Tamaño máximo del agregado grueso	Módulo de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9.5 mm - 3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12.5 mm - 1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19 mm - 3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25 mm - 1"	0,71	0,69	0,67	0,65
37.5 mm - 1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50 mm - 2"	0,78	0,76	0,74	0,72
75 mm - 3"	0,82	0,80	0,78	0,76
150 mm - 6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Nota: Fuente: Adaptado del ACI 211.22

7) Se calcula el agregado fino por diferencia, asegurando que el total de los componentes suman un volumen (1 m³) adecuado para la mezcla, donde este valor se multiplicará por el peso específico. Donde se obtendrán todas las proporciones en estado seco.

8) Se hacen las correcciones por humedad y absorción de los agregados donde se ajustan las proporciones considerando la humedad superficial y la absorción de los agregados, para compensar el agua que los áridos que retienen o liberan mediante las siguientes ecuaciones:

Ecuación: Corrección por humedad

$$C_H = P_S\left(\frac{\%W}{100} + 1\right)$$

Ecuación: Aporte de humedad a la mezcla

$$A_H = \frac{(\%W - \%Abs) * Ps}{100}$$

Donde:

C_H: Corrección por humedad.

A_H: Aporte de humedad.

%W: Porcentaje de humedad.

%Abs: Porcentaje de absorción.

Ps: Peso seco del material

9) Calcular los pesos finales por metro cúbico, así mismo hallando las proporciones de los materiales, y finalmente la cantidad de materiales a utilizar para la cantidad de concreto requerido.

3.9. Proceso de mezclado del concreto

El proceso de mezclado del concreto se realizó siguiendo las recomendaciones establecidas en la NTP 339.183:2018, utilizando una mezcladora con capacidad de 150 litros. El procedimiento tuvo como finalidad obtener una mezcla homogénea y uniforme, asegurando una adecuada distribución de los materiales que conforman el concreto. La preparación de las mezclas se efectuó en dos tandas por cada diseño, una destinada a la elaboración de 6 briquetas y otra para la elaboración de 3 viguetas, manteniendo el mismo procedimiento de mezclado en cada tanda, explicándolo a continuación:

a) Se humedeció previamente el interior de la mezcladora, evitando la absorción de agua.
b) Antes de iniciar la rotación de la mezcladora, se incorporó el agregado grueso junto con una parte del agua de mezclado.
c) Se puso en funcionamiento la mezcladora y se incorporaron progresivamente el agregado fino, el cemento y el agua restante.
d) La microsílice, utilizada como material cementicio suplementario, se incorporó durante el proceso de mezclado, procurando su adecuada dispersión y distribución en la mezcla.
e) Una vez incorporados los materiales, se realizó el mezclado durante aproximadamente 3 min.
f) Posteriormente, se dejó reposar la mezcla durante aproximadamente 3 minutos, manteniendo la mezcladora detenida.
g) Finalmente, se reanudó el mezclado durante aproximadamente 2 minutos, hasta obtener una mezcla homogénea y de consistencia uniforme.

h) Concluido el proceso, se procedió a la descarga de la mezcla y posteriormente a la limpieza de la mezcladora, evitando la acumulación de residuos que pudieran afectar las mezclas posteriores.

3.10. Ensayos del concreto en estado fresco

3.10.1. Método de ensayo para medir el asentamiento del concreto

El ensayo de asentamiento del concreto es un procedimiento utilizado para evaluar la consistencia y trabajabilidad de la mezcla en estado fresco.

Instrumentos utilizados

- Varilla de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud.
- Cucharon o batidor.
- Dispositivo de medida (regla o wincha)
- Cono de Abrams.

Procedimiento

a) Colocar el Cono de Abrams sobre una superficie rígida, limpia y no absorbente.
b) Llenar el molde con concreto fresco en tres capas de volumen similar.
c) Compactar cada capa mediante varillado uniforme de 25 golpes, asegurando una distribución homogénea del material.
d) Nivelar la superficie superior del molde, retirando el exceso de concreto.
e) Levantar el molde de forma vertical y continua, sin movimientos laterales.
f) Medir inmediatamente la diferencia de altura entre el molde y el punto más alto del concreto asentado.

3.11. Ensayos del concreto en estado endurecido.

3.11.1. Practica para la preparación y curado de especímenes de concreto (NTP 339.183-18).

Según la norma NTP 339.183-18, esta práctica establece lineamientos para la correcta elaboración y el curado inicial de especímenes de concreto, con el fin de obtener muestras representativas que permitan evaluar de manera confiable sus propiedades mecánicas y su desempeño en condiciones controladas.

Instrumentos utilizados

- Balanza.
- Cucharon o batidor.
- Moldes (cilíndricos y prismáticos)
- Varilla de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud.
- Mezcladora de concreto.
- Martillo de goma.

Procedimiento.

1) Limpiar y humedecer previamente los moldes de briquetas (15 × 30 cm) y viguetas (15 × 15 × 60 cm).
2) Llenar los moldes con concreto fresco en capas uniformes:
3) Briquetas 15 × 30 cm: colocar el concreto en tres capas iguales.
4) Viguetas 15 × 15 × 60 cm: colocar el concreto en dos capas iguales.
5) Compactar cada capa mediante varillado:
6) Briquetas: aplicar 25 golpes de varilla por capa, distribuidos uniformemente sobre la sección.
7) Viguetas: aplicar 25 golpes de varilla por capa, asegurando una compactación homogénea a lo largo del molde.
8) Golpear suavemente los costados del molde para eliminar vacíos superficiales.
9) Nivelar y alisar la superficie superior del concreto.
   Curado
10) Proteger los especímenes recién moldeados para evitar la pérdida de humedad durante las primeras 24 horas.
11) Desmoldar cuidadosamente las briquetas y viguetas transcurrido este tiempo.
12) Colocar los especímenes en un ambiente de curado húmedo, mediante inmersión en agua o cámara húmeda, manteniendo condiciones constantes hasta la edad de ensayo.

3.11.2. Método de ensayo para determinar la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas (NTP 339.034-21)

El ensayo de resistencia a la compresión establecido en la NTP 339.034-21 consiste en determinar la capacidad del concreto endurecido para soportar cargas axiales aplicadas sobre muestras cilíndricas, hasta el momento de su fallo. La norma específica los requisitos para la preparación, curado, alineación y carga de los especímenes, con el fin de obtener un valor confiable de la resistencia mecánica del concreto, fundamental para su evaluación estructural.

Aparatos

- Máquina de ensayo hidráulica (Prensa de compresión).
- Regla metálica o vernier (para medir dimensiones).
- Platos de carga (Placas de compresión).
- Almohadillas de neopreno.

Procedimiento

1) Se seleccionan las probetas cilíndricas previamente moldeadas y curadas conforme a la NTP 339.183-18, verificando que sus superficies estén limpias y sin defectos visibles.
2) Proteger de la pérdida de humedad las briquetas hasta la realización del ensayo.

3) Todos los especímenes cilíndricos pertenecientes a una misma edad de ensayo deben ser rotos dentro del intervalo de tiempo establecido por la norma, respetando las tolerancias permitidas para garantizar la validez de los resultados, fijarse la siguiente tabla.

Tabla 18

Tolerancias admisibles en función de la edad del ensayo.

Edad del ensayo	Tolerancia permitida
24 horas	± 0,5 h ó ± 2,1 %
3 días	± 2 h ó ± 2,8 %
7 días	± 6 h ó ± 3,6 %
28 días	± 20 h ó ± 3,0 %
90 días	± 48 h ó ± 2,2 %

Nota: Fuente: Adaptado de la norma NTP 339.034-21

Colocación en la máquina de ensayo

La probeta se ubica centrada en la prensa de compresión, asegurando su alineamiento axial para evitar cargas excéntricas durante la aplicación de la fuerza.

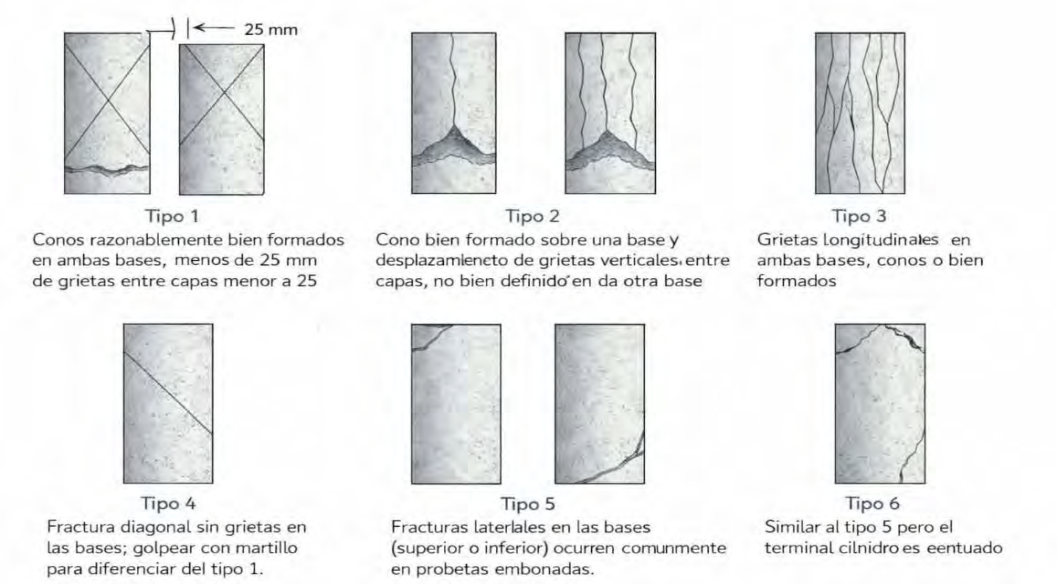
Se aplica la carga de manera continua y sin impactos, a una velocidad controlada establecida por la norma (0.25±0.05 MPa/s), hasta que ocurre la falla del espécimen.

Registro de resultados

Se anota la carga máxima alcanzada al momento de la ruptura y se calcula la resistencia a la compresión dividiendo la carga entre el área de la sección transversal. Verificar el tipo de patrón de fractura que tuvo la briqueta y anotar según las referencias de la siguiente figura:

Figura 2

Tipos de fractura en cilindros de concreto al someterse a compresión.



Nota: Fuente: NTP 339.034-21

Se documentan los valores obtenidos, la edad del concreto, el tipo de rotura y cualquier observación relevante sobre el comportamiento del cilindro.

Corrección de la resistencia a la compresión

Según la norma si la relación entre la longitud de la muestra al diámetro es menor o igual a 1,75; este resultado debe ser multiplicado por el factor adecuado de corrección que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 19

Factores de corrección en función de la relación L/D del espécimen.

Relación L/D	Factor de corrección
1,75	0,98
1,50	0,96
1,25	0,93
1,00	0,87

Nota: Para valores intermedios de la relación L/D, el factor de corrección correspondiente se determina mediante interpolación lineal entre los valores indicados. Fuente: NTP 339.034-21

3.11.3. Determinación de la resistencia a la flexión del concreto para vigas simplemente apoyadas con cargas en los tercios del tramo (NTP 339.078-22).

El ensayo de resistencia a la flexión del concreto, establecido en la NTP 339.078-22, permite determinar la capacidad de una viga de concreto para resistir esfuerzos de tracción generados por flexión bajo cargas aplicadas en los tercios del claro. Este método evalúa la tensión unitaria de tracción en la fibra extrema del espécimen cuando se somete a una carga transversal controlada, lo que permite obtener el módulo de rotura (MR) del concreto.

Según la norma, este ensayo se basa en la medición del momento flector máximo inducido, y proporciona un indicador confiable del comportamiento del concreto en elementos que trabajan principalmente a flexión, como losas, vigas y pavimentos rígidos.

Así mismo se calculará la deflexión al 40 % de la carga máxima para determinar el módulo de elasticidad

Aparatos

- Máquina de ensayo para flexión (Maquina universal)
- Dispositivo de apoyo y carga (rodillo superiores e inferiores).
- Regla metálica

Procedimiento

El procedimiento descrito en la NTP 339.078-22 establece los pasos para obtener el módulo de rotura, pero usaremos la deflexión para hallar el módulo de elasticidad mediante una formula.

Preparación del espécimen: Las vigas deben estar curadas conforme a la NTP 339.183-18, y antes del ensayo deben ser medidas cuidadosamente para sus cálculos los siguientes:

- ancho (b).
- altura (h).
- longitud total.
- claro entre apoyos.

1) Colocación de la viga en la máquina: La probeta se coloca horizontalmente sobre los rodillos de apoyo y debe verificarse que:
2) esté centrada longitudinalmente,
3) los apoyos estén alineados y libres de partículas, el eje longitudinal coincida con la dirección de aplicación de carga.
4) Los dos rodillos de carga deben ubicarse exactamente en los dos tercios del tramo, siguiendo la especificación geométrica de la norma.
5) Aplicación de la carga: La carga se aplica verticalmente en los dos puntos de carga, incrementándose de forma continua, uniforme y sin choques a una velocidad de 0,9 MPa/min a 1,2 MPa/min.
6) Durante la aplicación, debe evitarse cualquier vibración o inclinación accidental que modifique el patrón de esfuerzo.
7) Registro de la carga máxima: Cuando la viga falla es generalmente por la aparición de una fisura en la zona de tracción inferior donde se registra la carga máxima alcanzada, (a partir de la carga máxima registrada se determinó el 40 % de dicho valor y, mediante la curva carga–deflexión obtenida durante el ensayo, se identificó la deflexión correspondiente, utilizada posteriormente para el cálculo del módulo de elasticidad).
8) Observación del tipo de ruptura: Según NTP 339.078-22 indica que se debe clasificar el tipo de falla, ya que una falla fuera del tercio central puede invalidar el resultado o requerir un factor de corrección.

Las fallas pueden ser:

- En el tercio central (válida).
- Fuera del tercio central (requiere ajuste o se invalida según desplazamiento).

3.11.4. Método de ensayo para determinar el módulo de elasticidad estático del concreto (ASTM C469-22).

El método de ensayo para el módulo estático de elasticidad del concreto establece la forma de determinar la relación entre la tensión longitudinal aplicada y la deformación unitaria producida cuando una probeta cilíndrica de concreto es sometida a carga axial dentro de un rango específico.

Según la norma ASTM C.469-22, este ensayo permite obtener:

- Módulo de elasticidad estático (E)

- Coeficiente de Poisson (ν) (opcional según el laboratorio)

En este caso solo hallaremos el módulo donde este representa la rigidez del concreto, es decir, su capacidad para deformarse elásticamente sin sufrir daños permanentes.

La norma ASTM C469-22 indica que el módulo es determinado aplicando cargas repetidas y controladas sobre un cilindro estándar mientras se registran las deformaciones longitudinales mediante dispositivos calibrados (extensómetros o compresómetros).

El valor del módulo se calcula en función de:

- la deformación inicial registrada bajo una precarga mínima.
- la deformación producida por una carga definida (generalmente 40% de la resistencia a compresión).
- y la variación de carga correspondiente.

El método se basa en la parte casi lineal de la curva esfuerzo–deformación.

Aparatos

- Máquina de ensayo a compresión
- Compresometro (Extensómetro longitudinal) El compresometro es un dispositivo especializado utilizado para medir de manera precisa las deformaciones longitudinales que experimenta un cilindro de concreto cuando se le aplica una carga axial durante un ensayo mecánico, la distancia de calibración estándar (generalmente 200 mm).

Podemos observar la siguiente figura las características de un compresometro:

Figura 3

Compresometro utilizado para el ensayo del módulo de elasticidad.



Nota: Fuente: Elaboración propia

- Deformímetros. Estos aparatos deben tener una precisión de 50 millonésimas.
- Nivel de mano.

Procedimiento

Durante la ejecución del ensayo, la temperatura del ambiente inmediato a la probeta debe mantenerse estable, como establece la norma. Antes de iniciar la prueba del módulo de elasticidad, es necesario contar con al menos dos cilindros adicionales ensayados a compresión conforme a la NTP 339.034-21, ya que el promedio de su última carga servirá como referencia para definir el nivel máximo de carga aplicado.

La probeta debe colocarse cuidadosamente en la máquina universal de ensayo, asegurándose de que los dispositivos de medición de deformaciones se encuentren correctamente instalados.

La prueba contempla tres ciclos de carga. El primero sirve únicamente para asentar el sistema de medición y no se utilizan sus lecturas. Las lecturas válidas se obtienen en los ciclos posteriores.

En cada ciclo, el cilindro se carga hasta alcanzar el 40 % del valor de carga última promedio de las muestras compañeras, valor que constituye la carga máxima para este ensayo.

Durante el primer ciclo se verifica el comportamiento de los medidores; si se detectan problemas de alineación o fijación, deben corregirse antes de iniciar el segundo ciclo. En los ciclos de medición, se deben registrar sin detener la carga:

- La carga aplicada y la deformación longitudinal cuando esta alcanza las 50 millonésimas.
- La carga y la deformación longitudinal cuando se llega al 40 % de la última carga.

La deformación longitudinal se obtiene dividiendo la deformación medida entre la longitud efectiva de la carga.

Si se requiere una curva completa tensión–deformación, se deben tomar lecturas en por lo menos dos puntos adicionales durante la carga continua o emplear un sistema que registre automáticamente las deformaciones.

Finalmente, se debe representar en una gráfica la deformación unitaria y la carga aplicada.

Para el cálculo del módulo de elasticidad se calcula con una aproximación de a la 50 millonésima mediante la siguiente ecuación.

Ecuación: Ecuación para hallar el módulo de elasticidad.

$$E = \frac{(s_2 - s_1)}{\mathcal{E}_2 - 0{,}00005}$$

Donde:

E: módulo de elasticidad (kgf/cm²).

S2: esfuerzo correspondiente al 40% de la carga ultima.

S1: esfuerzo correspondiente a la deformación unitaria longitudinal, Ɛ1, de 50 millonesimas.

Ɛ2: deformación unitaria longitudinal producida por el esfuerzo S2.

CAPITULO IV: RESULTADOS

4.1. Resultados de las características físico-mecánicas de los agregados

4.1.1. Características del agregado grueso (cantera de vicho)

En la presente tabla N°20 se presentan brevemente los resultados y valores obtenidos en los ensayos respectivos, realizados en laboratorio.

Tabla 20

Resultados de los ensayos del Agregado Grueso.

Ensayo	Resultado	Norma
Cantidad de Material Fino que pasa el Tamiz N°200(%)	1,06	NTP400.018-20
Análisis Granulométrico del Agregado Grueso	Huso 56	NTP400.012-21
Módulo de Finura	-	NTP400.012-21
Tamaño Máximo Nominal(pulg)	3/4"	NTP400.012-21
Tamaño Máximo(pulg)	1 1/2"	NTP400.012-21
Contenido de Humedad (%)	0,23	NTP339.185-21
Peso Específico(g/cm³)	2,64	NTP400.022-21
Absorción (%)	0,98	NTP400.022-21
Peso Unitario Suelto(kg/m³)	1484,59	NTP400.017-20
Peso Unitario Compactado(kg/m³)	1 616,02	NTP400.017-20
Abrasión en máquina de los ángeles	28,76	NTP400.019-21

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.1. Determinación de la Cantidad de Material Fino que pasa el Tamiz de 75µm N°200(%) por lavado (NTP 400.018-20)

La cuantificación del material fino que atraviesa el tamiz N°200 en el agregado grueso se realizó conforme al procedimiento establecido por la NTP 400.018-20. En la Tabla N° 21 se presentan los valores obtenidos en este ensayo, evidenciándose un porcentaje promedio de material que pasa el tamiz N°200 equivalente a 1,01%.

Tabla 21

Cantidad de material fino del agregado grueso que pasa por el tamiz N°200.

Ensayo	Cantidad de Material Fino que pasa el Tamiz de 75µm(N°200)
Datos	
Antes del lavado del material	
Masa de la Muestra Seca(gr)	3 745,58
Después del lavado del material	
Masa de la Muestra Seca(gr)	3 706,05
Masa del Residuo filtrado seco(gr)	39,53
Material más fino que pasa el tamiz 75µm (N°200)	
Material que pasa del Tamiz N°200(gr)	39,53
Porcentaje de Material Fino que Pasa el Tamiz N°200	**1,06%**

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.2 Análisis granulométrico del agregado grueso (NTP 400.012-21)

En la Tabla 22 se muestra el análisis granulométrico del agregado grueso, en el cual se determinó que el agregado grueso pertenece al Huso 56, el tamaño máximo es de 1 1/2" y el tamaño máximo nominal es de 3/4".

Tabla 22

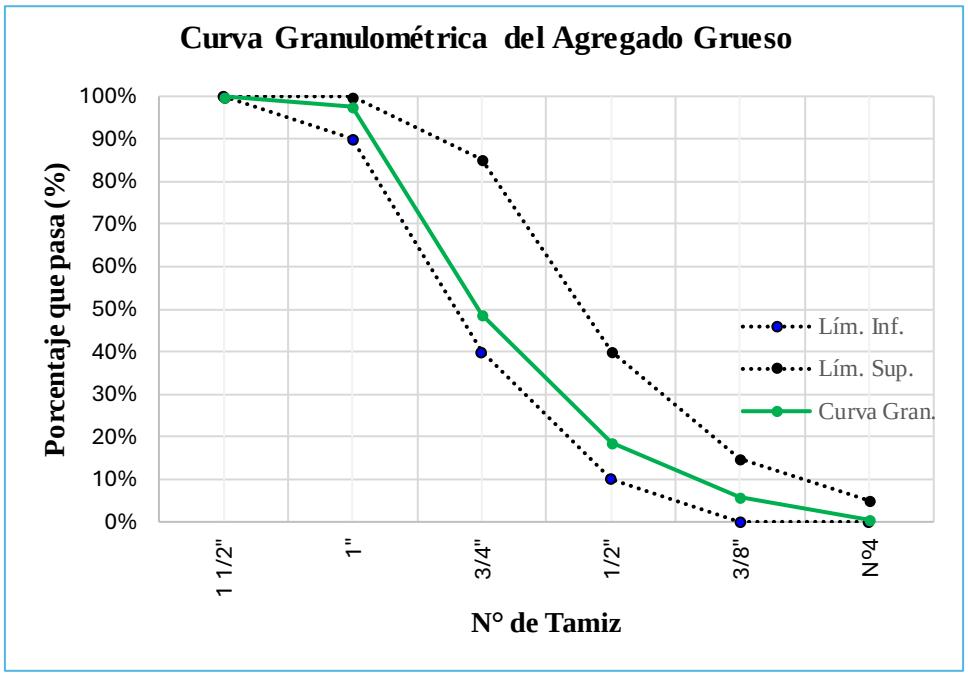
Registro y presentación de los resultados del análisis granulométrico del agregado grueso.

TAMIZ		AGREGADO GRUESO				ESP. NTP 400.037	
Abertura de Tamiz		Peso	Porcentaje Parc. Ret.	% acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
Pulgadas	mm	Retenido		Retenido	Pasante	%	%
1 1/2"	37,50	0,00	0,00		100	100	100
1"	25,00	130,08	2,60	2,60	97,40	90	100
3/4"	19,00	2 437,32	48,76	51,36	48,64	40	85
1/2"	12,50	1 500,37	30,01	81,37	18,63	10	40
3/8"	9,50	637,77	12,76	94,13	5,87	0	15
Nº4	4,75	269,81	5,40	99,53	0,47	0	5
Fondo <Nº200		23,45	0,47	100,00	0,00		
Peso Total		4 998,80		Verificación:		SI CUMPLE	
PESO TOTAL DE LA MUESTRA(g)				5000			

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 15

Curva granulométrica del agregado grueso.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.3. Determinación del Contenido de Humedad del Agregado Grueso (NTP 339.185-21)

El cálculo del contenido de humedad del agregado grueso se determinó siguiendo los lineamientos establecidos en la NTP 339.185, en la Tabla N°23 se muestran los datos recopilados de la ejecución del ensayo y el valor respectivo al contenido de humedad que es equivalente a 0,23%.

Tabla 23

Registro y presentación de los resultados del ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Masa de cápsula (g)	192,37	198,23	178,87
Masa de cápsula + Muestra húmeda (g)	3 192,37	3 198,23	3 178,78
Masa de cápsula + Muestra seca (g)	3 185,39	3 191,80	3 171,72
Masa del agua (g)	6,98	6,43	7,15
Masa de la muestra seca (g)	2 993,02	2 993,57	2 992,85
Contenido de humedad	0,23%	0,21%	0,24%
Contenido de humedad promedio		0,23%	

Nota: Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1.4 Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso (NTP 400.022-21)

En la Tabla N.° 24 se muestran los datos obtenidos en laboratorio y los resultados calculados siguiendo los lineamientos establecidos en la NTP 400.022-21, obteniéndose un peso específico de 2,64 g/cm³ y una absorción de 0,98 % para el agregado grueso.

Estos resultados evidencian las características físicas del agregado utilizado y constituyen parámetros fundamentales para el diseño de mezclas de concreto.

Tabla 24

Registro y presentación de resultados del ensayo del peso específico y de absorción del agregado grueso.

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de la muestra saturada superficialmente seca(g)	5 106,53	5 098,12	5 049,10
Peso en el agua de la muestra sumergida(g)	3 193,50	3 183,23	3 183,85
Peso de la muestra seca(g)	5 056,90	5 049,13	5 046,86
Peso específico de masa (g/cm³)	2,64	2,64	2,64
Promedio de peso específico de masa(g/cm³)		2,64	
Peso específico de masa saturada con superficie seca(g/cm³)	2,67	2,66	2,66
Prom. de peso específico de masa saturada con sup. seca(g/cm³)		2,67	
Peso específico aparente (g/cm³)	2,71	2,71	2,71
Promedio de peso específico aparente(g)		2,71	
Absorción del agregado	0,98%	0,97%	0,98%
Promedio de absorción del agregado (%)		0,98%	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.5 Determinación del peso unitario y vacíos del agregado grueso (NTP 400.017-20)

El cálculo del peso unitario suelto y compactado del agregado grueso se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 400.017-20. En la Tabla N.° 25 se presentan los datos correspondientes al presente ensayo y los respectivos cálculos, en los que se determinó para el peso unitario suelto el valor de 1484,59 kg/m³ y para el porcentaje de vacíos el valor de 45,13 %.

Estos resultados permiten evaluar la forma en que las partículas del agregado se acomodan dentro de un volumen determinado. Asimismo, el porcentaje de vacíos obtenido sirve para estimar la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar dichos espacios, favoreciendo una adecuada trabajabilidad y un mejor desempeño mecánico del concreto.

Tabla 25

Registro y presentación de resultados del ensayo de peso unitario suelto y porcentaje de vacíos suelto del agregado grueso.

Descripción	**Muestra 01**	**Muestra 02**	**Muestra 03**
Identificación del molde	1	1	1
Peso del molde(g)	7 910,00	7 910,00	7 910,00
Peso del molde + la muestra suelta(g)	12 355,00	12 280,00	12 255,00
Peso de la muestra suelta(g)	4 445,00	4 370,00	4 386,67
Altura del molde(cm)	16,50	16,50	16,50
Diámetro del molde(cm)	15,10	15,10	15,10
Volumen del molde(cm^3)	2 954,80	2 954,80	2 954,80
Peso específico(kg/m^3)	2 713,80	2 706,00	2 708,98
Peso unitario suelto(kg/m^3)	1 504,33	1 478,95	1 470,49
Peso unitario suelto promedio(kg/m^3)		1 484,59	
Porcentaje de vacíos (%)	44,49%	45,27%	45,64%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		45,13%	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N.° 26 se muestran los datos y resultados correspondientes al peso unitario varillado del agregado grueso, en el que se determinó un peso unitario varillado de 1 616,02 kg/m^3 y un porcentaje de vacíos de 40,27 %.

El procedimiento de compactación mediante varillado permitió obtener un mayor acomodo de las partículas del agregado, incrementando el peso unitario y reduciendo el porcentaje de vacíos con respecto al estado suelto.

Tabla 26

Registro y presentación de resultados del ensayo del peso unitario varillado y porcentaje de vacíos del agregado grueso.

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Identificación del molde	1	1	1
Peso del molde(g)	7 910,00	7 910,00	7 910,00
Peso del molde + la muestra varillada(g)	12 680,00	12 660,00	12 715,00
Peso de la muestra varillada(g)	4 770,00	4 750,00	4 805,00
Altura del molde(cm)	16,50	16,50	16,50
Diámetro del molde(cm)	15,10	15,10	15,10
Volumen del molde(cm^3)	2 954,80	2 954,80	2 954,80
Peso específico(kg/m^3)	2 713,80	2 706,00	2 708,98
Peso unitario varillado(kg/m^3)	1 614,32	1 607,56	1 626,17
Peso unitario varillado promedio(kg/m^3)		1 616,02	
Porcentaje de vacíos (%)	40,43%	40,51%	39,88%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		40,27%	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.1.6. Determinación de la resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaños menores por abrasión e impacto en la máquina de los ángeles

La determinación del desgaste del agregado grueso cumple con los procedimientos y estándares establecidos en la NTP 400.019-21. En la Tabla N.° 27 se muestran los datos obtenidos durante el ensayo y los resultados del cálculo correspondiente, obteniéndose un porcentaje de desgaste equivalente a 28,76 %.

El resultado obtenido permite verificar la calidad y durabilidad del agregado empleado en la investigación. Asimismo, este parámetro es importante para garantizar un adecuado comportamiento del concreto, especialmente en elementos sometidos a cargas repetitivas como los pavimentos rígidos.

Tabla 27

Registro y presentación del cálculo del desgaste del agregado grueso.

Descripción	Muestra
Gradación de la muestra	Tipo B
Masa entre el tamiz 3/4" y el tamiz 1/2"(g)	2 500,46
Masa entre el tamiz 1/2" y el tamiz 3/8"(g)	2 500,35
Masa total del ensayo(g)	5 000,81
Masa retenida en el tamiz N°12	3 562,43
Desgaste (%)	28,76

Nota: Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Características del Agregado Fino (Cantera de Cunyac)

En la tabla N°28 se muestran los resultados correspondientes a cada ensayo realizado al agregado fino.

Tabla 28

Resultado de los ensayos del agregado fino.

Ensayo	Resultado	Norma
Cantidad de Material Fino que pasa el Tamiz N°200(%)	3,95	NTP400.018-20
Análisis Granulométrico del Agregado Fino	Cumple	NTP400.012-21
Módulo de Finura	2,55	NTP400.012-21
Contenido de Humedad (%)	0,46	NTP339.185-21
Peso Específico(g/cm³)	2,66	NTP400.022-21
Absorción (%)	1,32	NTP400.022-21
Peso Unitario Suelto(kg/m³)	1 626,54	NTP400.017-20
Peso Unitario Compactado(kg/m³)	1 796,91	NTP400.017-20

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.1. Determinación de la Cantidad de Material Fino que pasa el Tamiz de 75µm N°200(%) por lavado (NTP 400.018-20)

La cuantificación del material fino que atraviesa el tamiz N°200 en el agregado fino, se realizó conforme al procedimiento establecido por la NTP 400.018-20. En la Tabla N° 29 se presentan los valores obtenidos en este ensayo, evidenciándose un porcentaje promedio de material que pasa el tamiz N°200 equivalente a 3,95%

Tabla 29

Cantidad de material fino del agregado fino que pasa por el tamiz N°200.

Descripción	Muestra
Antes del lavado del material	
Masa de la muestra seca(g)	1000
Después del lavado del material	
Masa de la muestra seca(g)	96,94
Masa del residuo filtrado seco(g)	38,06
Material más fino que del tamiz 75µm (N°200)	
Material que pasa el tamiz 75µm(N°200)	39,53
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200	3,95%

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.2. Análisis granulométrico del agregado fino (NTP 400.012-21)

En la Tabla N° 30 se muestra el análisis granulométrico del agregado fino, en el cual se determinó que el módulo de fineza tiene un valor equivalente a 2,55 para el agregado fino.

Tabla 30

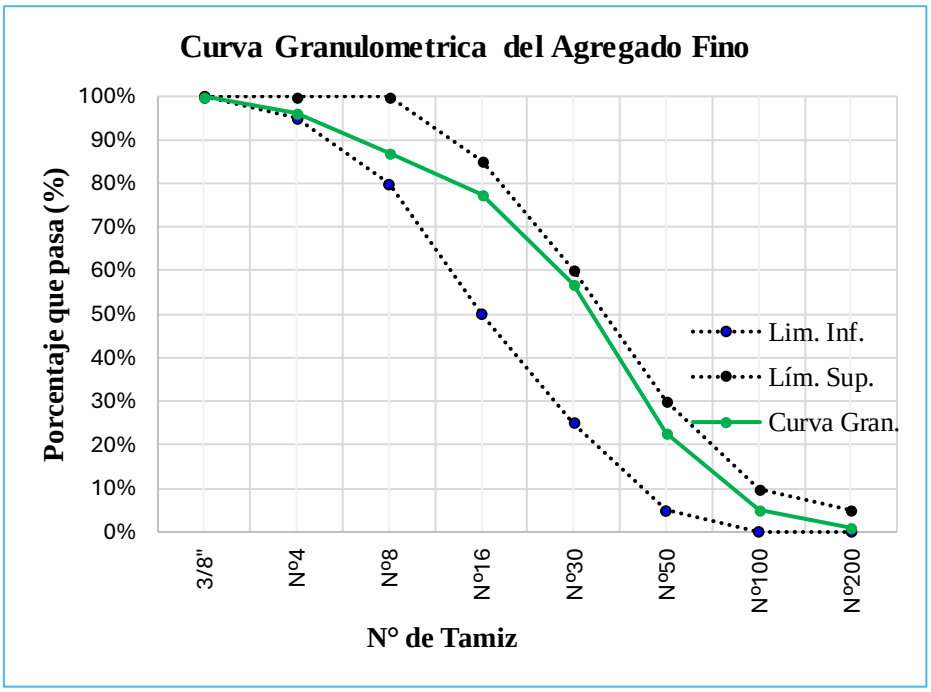
Registro y presentación de los resultados del análisis granulométrico del agregado fino.

TAMIZ		AGREGADO FINO				ESP. NTP 400.037	
Abertura de Tamiz		Peso	Porcentaje Parc. Ret.	% acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
Pulgadas	mm	Retenido		Retenido	Pasante	%	%
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
Nº4	4,75	39,95	4,00	4,00	96,00	95	100
Nº8	2,36	88,55	8,86	12,86	87,14	80	100
Nº16	1,18	97,76	9,79	22,65	77,35	50	85
Nº30	0,59	205,82	20,60	43,25	56,75	25	60
Nº50	0,297	338,65	33,90	77,15	22,85	5	30
Nº100	0,149	178,87	17,91	95,06	4,94	0	10
Nº200	0,075	39,70	3,97	99,03	0,97	0	5
Fondo <Nº200		9,65	0,97	100,00	0,00		
Peso Total		998,95		Verificación:		SI CUMPLE	
PESO TOTAL DE LA MUESTRA(g)				1000			

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 16

Curva granulométrica del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.3. Determinación del Contenido de Humedad del Agregado Grueso (NTP 339.185-21)

El cálculo del contenido de humedad del agregado fino se determinó siguiendo los lineamientos establecidos en la NTP 339.185-21. En la Tabla N°31 se muestran los datos recopilados de la ejecución del ensayo y el valor respectivo al contenido de humedad que es equivalente a 0,46%.

Tabla 31

Registro y presentación de los resultados del ensayo de contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Masa de cápsula (g)	112,23	123,25	110,45
Masa de cápsula + Muestra húmeda (g)	612,23	623,25	610,45
Masa de cápsula + Muestra seca (g)	609,94	620,97	608,11
Masa del agua (g)	2,29	2,28	2,34
Masa de la muestra seca (g)	497,71	497,72	497,66
Contenido de humedad	0,46%	0,46%	0,47%
Contenido de humedad promedio		0,46%	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.4. Determinación del peso específico y absorción del agregado fino (NTP 400.022-21)

En la Tabla N.° 32 se muestran los datos obtenidos durante el ensayo realizado en laboratorio y los resultados determinados a partir de los cálculos correspondientes, siguiendo los procedimientos y lineamientos establecidos en la NTP 400.022-21. De acuerdo con los resultados obtenidos, se determinó un valor de 2,66 g/cm³ para el peso específico y un valor de 1,32 % para la absorción del agregado fino empleado en la presente investigación.

Tabla 32

Registro y presentación de resultados del ensayo del peso específico y de absorción del agregado fino.

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de la muestra saturada superficialmente seca(g)	500	500	500
Peso del picnómetro + agua(g)	693,34	693,29	693,30
Peso de la muestra + agua + peso del picnómetro(g)	1 007,57	1 007,61	1 007,61
Peso de la muestra seca en horno(g)	493,50	493,55	493,45
Peso específico de masa (g/cm³)	2,66	2,66	2,66
Promedio de peso específico de masa(g/cm³)		**2,66**	
Peso específico de masa saturada con sup. seca(g/cm³)	2,69	2,69	2,69
Prom. de peso específico de masa saturada con sup. seca(g/cm³)		**2,69**	
Peso específico aparente (g/cm³)	2,75	2,75	2,75
Promedio de peso específico aparente(g)		**2,75**	
Absorción del agregado	1,32%	1,31%	1,33%
Promedio de absorción del agregado (%)		**1,32%**	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.5. Determinación del peso unitario y vacíos del agregado fino (NTP 400.017-20)

El cálculo del peso unitario suelto y compactado del agregado fino se realizó siguiendo los procedimientos indicados en la NTP 400.017-20. En la Tabla N°33 se presentan los datos correspondientes al presente ensayo y los respectivos cálculos, en los que se determinó para el peso unitario suelto el valor de 1 626,54 kg/m³ y para el porcentaje de vacíos el valor de 40,84%.

Tabla 33

Registro y presentación de resultados del ensayo de peso unitario suelto y porcentaje de vacíos suelto del agregado fino.

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso del molde(g)	4 230,00	4 230,00	4 230,00
Peso del molde + la muestra suelta(g)	5740	5740	5745
Peso de la muestra suelta(g)	1 510,00	1 510,00	1 515,00
Altura del molde(cm)	11,60	11,60	11,60
Diámetro del molde(cm)	10,10	10,10	10,10
Volumen del molde(cm^3)	929,37	929,37	929,37
Peso específico(kg/m^3)	2 752,83	2 753,72	2 754,55
Peso unitario suelto(kg/m^3)	1 624,75	1 624,75	1 630,13
Peso unitario suelto promedio(kg/m^3)		1 626,54	
Porcentaje de vacíos (%)	40,89	40,91	40,73
Porcentaje de vacíos promedio (%)		40,84	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla N°34 se muestra los datos y resultados correspondientes al peso unitario varillado del agregado fino, en el que se determinó para el peso unitario varillado el valor de 1 796,91 kg/m^3 y para el porcentaje de vacíos el valor de 34,65%.

Tabla 34

Registro y presentación de resultados del ensayo del peso unitario varillado y porcentaje de vacíos del agregado fino.

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Identificación del molde	2	2	2
Peso del molde(g)	4 230,00	4 230,00	4 230,00
Peso del molde + la muestra varillada(g)	5 910,00	5 895,00	5 895,00
Peso de la muestra varillada(g)	1 680,00	1 665,00	1 665,00
Altura del molde(cm)	11,60	11,60	11,60
Diámetro del molde(cm)	10,10	10,10	10,10
Volumen del molde(cm^3)	929,37	929,37	929,37
Peso específico(kg/m^3)	2 752,83	2 753,72	2 754,55
Peso unitario varillado(kg/m^3)	1 807,67	1 791,53	1 796,91
Peso unitario varillado promedio(kg/m^3)		1 796,91	
Porcentaje de vacíos (%)	34,24	34,85	34,87
Porcentaje de vacíos promedio (%)		34,65	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.2. Diseño de mezcla del concreto

Los diseños de mezcla del presente estudio se elaboraron empleando el método ACI 211.1-22, se formularon en total 15 diseños de mezcla en función a las variables independientes como la relación agua/cemento, establecida en tres niveles (0,40; 0,50 y 0,60) y el porcentaje de microsílice como aditivo mineral, que se incorporó en sustitución parcial del cemento, con dosificaciones de 0%, 4%, 6%, 8% y 10%, donde se aprecia 3 diseños con 0% de aditivo que vendrían a ser los diseños patrones para cada grupo. A continuación, en la tabla N°35 se presentan los códigos asignados a cada diseño de mezcla.

Tabla 35

Se presentan los códigos asignados a cada diseño de mezcla.

Código	a/c	Microsílice
D1	0,60	0%
D2	0,60	4%
D3	0,60	6%
D4	0,60	8%
D5	0,60	10%
D6	0,50	0%
D7	0,50	4%
D8	0,50	6%
D9	0,50	8%
D10	0,50	10%
D11	0,40	0%
D12	0,40	4%
D13	0,40	6%
D14	0,40	8%
D15	0,40	10%

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Diseño de mezcla del concreto patrón según el método ACI 211.1-22

En este apartado se desarrollará el diseño de mezcla y las proporciones de los componentes de los concretos patrones de relaciones agua/cemento en sus tres niveles (0,60; 0,50 y 0,40). Para la elaboración de los diseños de mezcla se empleó la metodología del ACI 211.1-22.

4.2.1.1. Diseño de mezcla del concreto de relación a/c=0,60

El diseño de mezcla con relación agua/cemento de 0,60 corresponde a una dosificación con mayor contenido de agua, lo cual favorece la trabajabilidad. Además, se calculó la resistencia a compresión requerida de acuerdo con el ACI 211.1, como valor referencial para analizar el efecto de los diferentes porcentajes de microsílice sobre el módulo de elasticidad del concreto.

Tabla 36

Datos generales del diseño de mezcla de relación a/c=0,60.

Datos generales del diseño	
Relación agua/cemento	0,60
Slump(pulg)	4"
Incorporador de aire	No

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37

Características físico-mecánicas de los componentes del diseño de mezcla.

Componente	Propiedad	Valor	Unidad
Cemento	Cemento tipo	SOL TIPO I	
	Peso específico del cemento	3,13	g/cm³
	Peso por bolsa de cemento	42,5	kg
Agreg. fino	Porcentaje de finos	1,01	%
	Peso unitario suelto	1 626,54	kg/m³
	Peso unitario varillado	1 796,91	%
	Peso específico del agregado	2,66	g/cm³
	Porcentaje de absorción	1,32	%
	Contenido de humedad	0,46	%
	Módulo de fineza	2,55	
Agreg. Grueso	Porcentaje de finos	3,95	%
	Peso unitario suelto	1 484,59	kg/m³
	Peso unitario varillado	1 616,02	kg/m³
	Peso específico del agregado	2,64	g/cm³
	Porcentaje de absorción	0,98	%
	Contenido de humedad	0,23	%
	Tamaño máximo nominal	3/4"	
	Tamaño máximo	1 1/2"	
	Resistencia a la abrasión	28,76	%
Agua	Peso específico del agua	1	g/cm³

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

Desarrollo del diseño de mezcla patrón de relación a/c=0,60

	Descripción	Valor	Unidad
1	Resistencia a compresión requerida	194,29	kgf/cm²
2	Relación agua/cemento de la mezcla	0,60	
3	revenimiento de la mezcla - Slump	4"	pulg.
4	Tamaño máximo nominal del agregado grueso	3/4"	pulg.
5	Volumen de agua de diseño	202,00	l
6	Contenido de aire atrapado	2,00	%
7	Cálculo de la cantidad de cemento	336,67	kg
8	Peso del agregado grueso	1 042,33	kg
9	Volumen absoluto		
	Volumen de cemento	0,108	m³
	Volumen de agua	0,202	m³
	Volumen de aire	0,020	m³
	Volumen de agregado grueso	0,394	m³
10	Volumen del agregado fino	0,276	m³
11	Peso del agregado fino	732,45	kg/m³
12	Presentación del diseño en estado seco		
	Cemento	336,67	kg
	Agregado fino	732,45	kg
	Agregado grueso	1 042,33	kg
	Agua	202,00	l
13	corrección por humedad de los agregados		
	Agregado fino	735,82	kg
	Agregado grueso	1 044,76	kg
14	Determinación del agua efectiva		
	Agua	216,08	l
15	Corrección de cemento por el agua efectiva		
	Cemento	360,13	kg
16	Diseño de mezcla		
	Cemento	360,13	kg
	Agregado fino	735,82	kg
	Agregado grueso	1 044,76	kg
	Agua	216,08	l

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39:

Dosificación del concreto patrón de relación a/c=0,60.

	Materiales	proporción	Por bolsa de cemento	Por m³ de concreto
Proporción en peso	Cemento	1,00 kg	1,00 bls	8,47 bls
	Agregado fino	2,04 kg	86,84 kg	735,82 kg
	Agregado grueso	2,90 kg	123,30 kg	1044,76 kg
	Agua	0,60 l	25,50 l	216,08 l
Proporción en volumen	Cemento	1,00 m³	1,00 bls	8,47 bls
	Agregado fino	2,41 m³	0,03 m³	0,28 m³
	Agregado grueso	3,44 m³	0,05 m³	0,40 m³
	Agua	1,88 m³	25,50 l	216,08 l

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. Diseño de mezcla del concreto de relación a/c=0,50

El diseño de mezcla con relación agua/cemento de 0,50 presenta un equilibrio entre trabajabilidad y resistencia. Para esta relación se determinó la resistencia a compresión requerida según el ACI 211.1, como referencia para evaluar la resistencia a compresión y la influencia de los diferentes porcentajes de microsílice en el módulo de elasticidad del concreto.

Tabla 40

Datos generales del diseño de mezcla de relación a/c=0,50.

Descripción	Valor
Relación agua/cemento	0,50
Slump(pulg)	4"
Incorporador de aire	No

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41

Características físico-mecánicas de los componentes del diseño de mezcla.

Componente	Propiedad	Valor	Unidad
	Cemento tipo	SOL TIPO I	
Cemento	Peso específico del cemento	3,13	g/cm³
	Peso por bolsa de cemento	42,5	kg
	Porcentaje de finos	1,01	%
	Peso unitario suelto	1 626,54	kg/m³
	Peso unitario varillado	1 796,91	%
Agreg, fino	Peso específico del agregado	2,66	g/cm³
	Porcentaje de absorción	1,32	%
	Contenido de humedad	0,46	%
	Módulo de fineza	2,55	
	Porcentaje de finos	3,95	%
	Peso unitario suelto	1 484,59	kg/m³
	Peso unitario varillado	1 616,02	kg/m³
	Peso específico del agregado	2,64	g/cm³
Agreg. Grueso	Porcentaje de absorción	0,98	%
	Contenido de humedad	0,23	%
	Tamaño máximo nominal	3/4"	
	Tamaño máximo	1 1/2"	
	Resistencia a la abrasión	28,76	%
Agua	Peso específico del agua	1	g/cm³

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42

Desarrollo del diseño de mezcla patrón de relación a/c=0,50.

	Descripción	Valor	Unidad
1	Resistencia a compresión requerida	251,71	kgf/cm²
2	Relación agua/cemento de la mezcla	0,50	
3	revenimiento de la mezcla - Slump	4"	pulg.
4	Tamaño máximo nominal del agregado grueso	3/4"	pulg.
5	Volumen de agua de diseño	202	l
6	Contenido de aire atrapado	2	%
7	Cálculo de la cantidad de cemento	404	kg
8	Peso del agregado grueso	1 042,33	kg
9	Volumen absoluto		
	Volumen de cemento	0,129	m³
	Volumen de agua	0,202	m³
	Volumen de aire	0,020	m³
	Volumen de agregado grueso	0,394	m³
10	Volumen del agregado fino	0,254	m³
11	Peso del agregado fino	657,300	kg
12	Presentación del diseño en estado seco		
	Cemento	404,000	kg
	Agregado fino	657,300	kg
	Agregado grueso	1 042,33	kg
	Agua	202	l
13	corrección por humedad de los agregados		
	Agregado fino	678,410	kg
	Agregado grueso	1 044,76	kg
14	Determinación del agua efectiva		
	Agua	215,590	l
15	Corrección de cemento por el agua efectiva		
	Cemento	431,170	kg
16	Diseño de mezcla		
	Cemento	431,17	kg
	Agregado fino	678,41	kg
	Agregado grueso	1 044,76	kg
	Agua	215,59	l

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

Dosificación del concreto patrón de relación a/c=0,50.

	Materiales	proporción	Por bolsa de cemento	Por m³ de concreto
Proporción en peso	Cemento	1,00 kg	1,00 bls	10,15 bls
	Agregado fino	1,57 kg	66,87 kg	678,41 kg
	Agregado grueso	2,42 kg	102,98 kg	1 044,76 kg
	Agua	0,50 l	21,25 l	215,59 l
Proporción en volumen	Cemento	1,00 m³	1,00 bls	10,15 bls
	Agregado fino	1,85 m³	0,03 m³	0,26 m³
	Agregado grueso	2,87 m³	0,04 m³	0,40 m³
	Agua	1,57 m³	21,25 l	215,59 l

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.3. Diseño de mezcla del concreto de relación a/c=0.40

El diseño de mezcla con relación agua/cemento de 0,40 corresponde a una dosificación con bajo contenido de agua, orientada a obtener mayor compacidad y mejores propiedades mecánicas. Asimismo, se estableció la resistencia a compresión requerida conforme al ACI 211.1, como parámetro de referencia para evaluar el efecto de los distintos porcentajes de microsílice sobre el módulo de elasticidad del concreto.

Tabla 44

Datos generales del diseño de mezcla de relación a/c=0,40.

Datos generales del diseño	
Relación agua/cemento	0,40
Slump(pulg)	4"
Incorporador de aire	No

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Características físico-mecánicas de los componentes del diseño de mezcla.

Componente	Propiedad	Valor	Unidad
	Cemento tipo	SOL TIPO I	
Cemento	Peso específico del cemento	3,13	g/cm³
	Peso por bolsa de cemento	42,5	kg
	Porcentaje de finos	1,01	%
	Peso unitario suelto	1 626,54	kg/m³
	Peso unitario varillado	1 796,91	%
Agreg, fino	Peso específico del agregado	2,66	g/cm³
	Porcentaje de absorción	1,32	%
	Contenido de humedad	0,46	%
	Módulo de fineza	2,55	
	Porcentaje de finos	3,95	%
	Peso unitario suelto	1 484,59	kg/m³
	Peso unitario varillado	1 616,02	kg/m³
	Peso específico del agregado	2,64	g/cm³
Agreg. Grueso	Porcentaje de absorción	0,98	%
	Contenido de humedad	0,23	%
	Tamaño máximo nominal	3/4"	
	Tamaño máximo	1 1/2"	
	Resistencia a la abrasión	28,76	%
Agua	Peso específico del agua	1	g/cm³

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46

Desarrollo del diseño de mezcla patrón de relación a/c=0,40.

	Descripción	Valor	Unidad
1	Resistencia a compresión requerida	346,00	kgf/cm²
1	Relación agua/cemento de la mezcla	0,40	
2	revenimiento de la mezcla - Slump	4"	pulg.
3	Tamaño máximo nominal del agregado grueso	3/4"	pulg.
4	Volumen de agua de diseño	202	l
5	Contenido de aire atrapado	2	%
6	Cálculo de la cantidad de cemento	505	kg
7	Peso del agregado grueso	1 042,33	kg
8	Volumen absoluto		
	Volumen de cemento	0,163	m³
	Volumen de agua	0,202	m³
	Volumen de aire	0,020	m³
	Volumen de agregado grueso	0,394	m³
9	Volumen del agregado fino	0,222	m³
10	Peso del agregado fino	589,58	kg
11	Presentación del diseño en estado seco		
	Cemento	505	kg
	Agregado fino	589,58	kg
	Agregado grueso	1 042,33	kg
	Agua	202	l
12	corrección por humedad de los agregados		
	Agregado fino	592,3	kg
	Agregado grueso	1044,76	kg
13	Determinación del agua efectiva		
	Agua	214,850	l
14	Corrección de cemento por el agua efectiva		
	Cemento	537,13	kg
15	Diseño de mezcla		
	Cemento	537,13	kg
	Agregado fino	592,3	kg
	Agregado grueso	1044,76	kg
	Agua	214,85	l

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47

Dosificación del concreto patrón de relación a/c=0.40.

	Materiales	proporción	Por bolsa de cemento	Por m³ de concreto
Proporción en peso	Cemento	1,00 kg	1,00 bls	12,64 bls
	Agregado fino	1,10 kg	46,87 kg	592 kg
	Agregado grueso	1,95 kg	82,67 kg	1 044,76 kg
	Agua	0,40 l	17 l	214,85 l
Proporción en volumen	Cemento	1,00 m³	1 bls	12,64 bls
	Agregado fino	1,30 m³	0,02 m³	0,22 m³
	Agregado grueso	2,30 m³	0,03 m³	0,40 m³
	Agua	1,25 m³	17 l	214,85 l

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.4. Diseño de mezclas

A continuación, se presentan los diseños de mezcla patrón correspondientes a las relaciones agua/cemento (a/c) de 0,40; 0,50 y 0,60, así como sus respectivas variantes con incorporación de microsílice en proporciones de 0 %, 4 %, 6 %, 8 % y 10 %. Estos diseños fueron elaborados considerando las características físicas de los materiales empleados y siguiendo el procedimiento establecido por la metodología ACI 211.1, con el propósito de obtener mezclas con propiedades adecuadas para su evaluación experimental.

Cabe precisar que la microsílice fue incorporada como reemplazo parcial del cemento en función del peso del cemento, es decir, mediante una sustitución porcentual en masa, manteniendo constante la cantidad total de material cementante en cada diseño. Esta variación permitió analizar el efecto de diferentes contenidos de microsílice sobre el comportamiento mecánico del concreto y determinar la influencia de esta adición en el módulo de elasticidad.

En total, se desarrollaron 15 diseños de mezcla, combinando las tres relaciones agua/cemento establecidas con los diferentes porcentajes de microsílice considerados en la investigación. Cada dosificación fue evaluada mediante ensayos de laboratorio para determinar sus propiedades en estado fresco y endurecido, permitiendo comparar el comportamiento del concreto convencional frente al concreto modificado con microsílice. En la Tabla N.° 48 se detallan los diseños de mezcla realizados y las respectivas proporciones de sus componentes, tales como cemento, microsílice, agua, agregado fino y agregado grueso.

Tabla 48

Diseños de mezcla por un metro cubico de concreto.

Materiales	**Diseños de mezcla**														
	D1	**D2**	**D3**	**D4**	**D5**	**D6**	**D7**	**D8**	**D9**	**D10**	**D11**	**D12**	**D13**	**D14**	**D15**
Cemento(kg)	360,13	345,72	338,52	331,32	324,11	431,17	413,93	405,30	396,68	388,06	537,13	515,64	504,90	494,16	483,42
Microsílice(kg)	-	14,41	21,61	28,81	36,01	-	17,25	25,87	34,49	43,12	-	21,49	32,23	42,97	53,71
Agregado fino(kg)	735,82	735,82	735,82	735,82	735,82	678,41	678,41	678,41	678,41	678,41	592,30	592,30	592,30	592,30	592,30
Agregado grueso(kg)	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7	1 044,7
Agua(l)	216,08	216,08	216,08	216,08	216,08	215,59	215,59	215,59	215,59	215,59	214,85	214,85	214,85	214,85	214,85
Relación a/c	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,50	0,50	0.50	0.50	0,50	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
Porcentaje de Microsílice	0%	4%	6%	8%	10%	0%	4%	6%	8%	10%	0%	4%	6%	8%	10%

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.3. Ensayos en el concreto

4.3.1. Ensayos de concreto en estado fresco

4.3.1.1. Resultados del ensayo de revenimiento o asentamiento

En la tabla N°49 se observa los valores del revenimiento de cada diseño de mezcla realizado, además es necesario mencionar que el presente ensayo se realizó siguiendo los procedimientos que indica la NTP 399.035.

Tabla 49

Medida de asentamiento del concreto.

N° de ensayo	Código	a/c	Microsílice (%)	N° de probetas cilíndricas	N° de probetas prismáticas	Slump (cm)	Slump (pulg.)
1	D1	0,60	0%	6	3	13,6	5,4
2	D2	0,60	4%	6	3	10,7	4,2
3	D3	0,60	6%	6	3	8,3	3,3
4	D4	0,60	8%	6	3	5,7	2,2
5	D5	0,60	10%	6	3	4,1	1,6
6	D6	0,50	0%	6	3	10,5	4,1
7	D7	0,50	4%	6	3	9,3	3,7
8	D8	0,50	6%	6	3	7,6	3
9	D9	0,50	8%	6	3	5,6	2,2
10	D10	0,50	10%	6	3	3,4	1.3
11	D11	0,40	0%	6	3	9,6	3,8
12	D12	0,40	4%	6	3	7,2	2,8
13	D13	0,40	6%	6	3	5,9	2,3
14	D14	0,40	8%	6	3	4,8	1,8
15	D15	0,40	10%	6	3	2,9	1,1

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.3.2. Ensayo de concreto endurecido

4.3.2.1. Resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas de concreto

En la Tabla N° 50 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a la compresión en probetas cilíndricas de concreto; adicionalmente, se consigna el tipo de falla registrado en cada espécimen. Asimismo, en la Figura N° 29 se ilustran los esquemas de los distintos patrones de falla utilizados para su correspondiente clasificación.

Tabla 50

Resultados del ensayo de resistencia a compresión de las probetas cilíndricas.

N° de ensayo	Fecha de vaciados	Código	a/c	Microsílice (%)	Fecha de rotura	Tiempo de curado (días)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Relación (Altura/ Diámetro)	Carga (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm²)	Resistencia compresión promedio(kgf/cm²)	Tipo de falla
1							29,97	15,18	1,97	36 470	201,51		2
2	29/09/2025	D1	0,60	-	29/10/2025	30	30,47	15,23	2,00	35 189	193,16	194,84	3
3							30,20	1521	1,99	34 493	189,84		3
4							30,31	15,21	1,99	52 749	290,31		5
5	29/09/2025	D2	0,60	4%	29/10/2025	30	30,31	15,21	1,99	48 962	269,47	279,56	5
6							30,15	15,24	1,98	50 874	278,89		3
7							30,20	15,25	1,98	59 565	326,11		2
8	29/09/2025	D3	0,60	6%	29/10/2025	30	30,24	15,30	1,98	61 806	336,17	330,47	5
9							30,36	15,23	1,99	59 961	329,14		3
10							30,22	15,25	1,98	66 163	362,23		3
11	30/09/2025	D4	0,60	8%	30/10/2025	30	30,36	15,17	2,00	66 123	365,84	365,78	3
12							30,34	15,26	1,99	67 535	369,26		2
13							30,38	15,19	2,00	76 611	422,75		5
14	30/09/2025	D5	0,60	10%	30/10/2025	30	30,27	15,20	1,99	76 456	421,34	425,71	3
15							30,42	15,21	2,00	78 684	433,05		3
16							30,11	15,30	1,97	46 886	255,02		5
17	30/09/2025	D6	0,50	-	30/10/2025	30	30,32	15,20	1,99	57 415	316,41	284,38	2
18							30,45	15,24	2,00	51 388	281,71		3
19							30,26	15,24	1,99	64 664	354,49		2
20	1/10/2025	D7	0,50	4%	3/11/2025	33	30,36	15,24	1,99	61 406	336,63	344,23	3
21							30,35	15,23	1,99	62 224	341,56		2
22							30,35	15,24	1,99	66 612	365,17		3
23	1/10/2025	D8	0,50	6%	3/11/2025	33	30,59	15,27	2,00	64 760	353,62	357,39	2
24							30,44	15,28	1,99	64 802	353,39		3

N° de ensayo	Fecha de vaciados	Código	a/c	Microsílice (%)	Fecha de rotura	Tiempo de curado (días)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Relación (Altura/ Diámetro)	Carga (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm²)	Resistencia compresión promedio(kgf/cm²)	Tipo de falla
25							30,35	15,22	1,99	74 161	407,62		3
26	1/10/2025	D9	0,50	8%	3/11/2025	33	30,41	15,21	2,00	69 459	382,28	395,21	2
27							30,42	15,15	2,01	71 337	395,73		2
28							30,29	15,22	1,99	90 355	496,63		3
29	3/10/2025	D10	0,50	10%	4/11/2025	32	30,60	15,22	2,01	80 319	441,47	462,36	3
30							30,36	15,16	2,00	81 045	448,99		4
31							30,27	15,34	1,97	67 846	367,1		3
32	3/10/2025	D11	0,40	-	4/11/2025	32	30,41	15,24	2,00	72 999	400,18	383,14	2
33							30,24	15,21	1,99	69 434	382,14		3
34							30,41	15,20	2,00	74 723	411,79		2
35	3/10/2025	D12	0,40	4%	4/11/2025	32	30,14	15,21	1,98	75 130	413,49	416,97	3
36							30,37	15,26	1,99	77 847	425,64		4
37							30,38	15,23	1,99	78 483	430,81		5
38	4/10/2025	D13	0,40	6%	5/11/2025	32	30,55	15,20	2,01	79 002	435,37	435,42	5
39							30,23	15,24	1,98	80 279	440,09		3
40							30,13	15,12	1,99	79 907	445,03		3
41	4/10/2025	D14	0,40	8%	5/11/2025	32	30,39	15,22	2,00	81 233	446,49	449,09	5
42							30,23	15,24	1,98	83 137	455,76		2
43							30,70	15,20	2,02	93 261	513,95		3
44	4/10/2025	D15	0,40	10%	5/11/2025	32	30,30	15,27	1,98	85 009	464,19	478,98	2
45							3035	15,16	2,00	82 817	458,81		5
46							30,07	15,12	1,99	82 277	458,23		3
47	7/11/2025	O	0,40	10%	5/12/2025	28	30,40	15,23	2,00	81 534	447,56	452,67	5
48							30,03	15,24	1,97	82 493	452,23		2

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.2. Resultados del ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto

En la Tabla N.º 51 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto, determinados experimentalmente en laboratorio mediante la aplicación de cargas controladas sobre las probetas de concreto. Este ensayo permite evaluar la rigidez del material a través de la relación existente entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria generada, proporcionando información sobre la capacidad del concreto para resistir deformaciones ante la acción de cargas externas.

Los valores Ec_1 y Ec_2 corresponden a los módulos de elasticidad obtenidos durante el segundo y tercer ciclo de carga, respectivamente, los cuales son considerados representativos debido a que durante estos ciclos el concreto presenta un comportamiento más estable, reduciendo la influencia de las deformaciones iniciales generadas durante el primer ciclo de carga. El valor Ec representa el módulo de elasticidad final adoptado para cada diseño de mezcla, obtenido mediante el promedio de los valores registrados en ambos ciclos de ensayo.

Los resultados obtenidos permiten analizar la variación de la rigidez del concreto en función de las diferentes relaciones agua/cemento y porcentajes de microsílice incorporados en la mezcla. De esta manera, es posible identificar el efecto que produce la incorporación de este material suplementario sobre la estructura interna del concreto, considerando los mecanismos asociados a la reacción puzolánica y al efecto de relleno que favorecen una matriz cementante más compacta.

Asimismo, los valores determinados del módulo de elasticidad constituyen un parámetro fundamental para evaluar el comportamiento del concreto frente a cargas de servicio, especialmente en elementos sometidos a esfuerzos de flexión como los pavimentos rígidos. Estos resultados permiten establecer comparaciones entre las diferentes dosificaciones evaluadas y determinar cuál presenta un mejor desempeño mecánico.

Finalmente, los datos obtenidos fueron empleados para el análisis estadístico y la aplicación de la metodología de superficie de respuesta, permitiendo evaluar la influencia individual y combinada de la relación agua/cemento y el porcentaje de microsílice sobre el módulo de elasticidad del concreto. Esto contribuye a determinar la dosificación óptima que proporcione mejores características de rigidez y desempeño para las condiciones de estudio.

Tabla 51

Resultados del módulo de elasticidad estático de las probetas cilíndricas.

N° de ensayo	Fecha de elaboración	Código	a/c	Microsílice	Fecha de ensayo	Tiempo de curado (días)	Medidas promedio de la muestra (cm)		Módulo de Elasticidad (kgf/cm²)	Promedio módulo de elasticidad (kgf/cm²)
							Diámetro	Altura		
1							15,03	29,52	217 866,39	
2	29/09/2025	D1	0,6	-	29/10/2025	30	15	29,68	220 914,20	218 863,75
3							15,08	29,74	217 810,66	
4							15,12	29,81	226 215,56	
5	29/09/2025	D2	0,6	4%	29/10/2025	30	15,06	29,89	226 513,71	227 703,39
6							15,15	29,95	230 380,90	
7							15,1	29,97	233 910,13	
8	29/09/2025	D3	0,6	6%	29/10/2025	30	15,12	30,02	237 485,32	233 207,24
9							15,6	30,08	228 226,28	
10							15,05	30,15	245 035,90	
11	30/09/2025	D4	0,6	8%	30/10/2025	30	15,1	29,63	246 718,83	247 736,14
12							14,9	29,71	251 453,68	
13							15,22	29,79	251 779,94	
14	30/09/2025	D5	0,6	10%	30/10/2025	30	15	29,86	257 076,18	253 791,64
15							15,08	29,92	252 518,82	
16							15	29,99	244 484,40	
17	30/09/2025	D6	0,5	-	30/10/2025	30	15,02	30,04	239 347,01	240 753,91
18							15,06	30,11	238 430,34	
19							15,08	30,18	260 509,36	
20	1/10/2025	D7	0,5	4%	3/11/2025	33	15,02	30,23	252 493,58	254 093,36
21							15	29,57	249 277,13	
22							15,06	29,66	259 788,98	
23	1/10/2025	D8	0,5	6%	3/11/2025	33	15,08	29,73	261 013,79	260 773,94
24							15,12	29,83	261 519,05	

N° de ensayo	Fecha de elaboración	Código	a/c	Microsílice	Fecha de ensayo	Tiempo de curado (días)	Medidas promedio de la muestra (cm)		Módulo de Elasticidad (kgf/cm²)	Promedio módulo de elasticidad (kgf/cm²)
							Diámetro	Altura		
25							15,12	29,90	271 183,54	
26	1/10/2025	D9	0,5	8%	3/11/2025	33	15,13	29,96	269 188,76	270 228,15
27							15,06	30,01	270 312,15	
28							15,12	30,06	281 885,54	
29	3/10/2025	D10	0,5	10%	4/11/2025	32	15,10	30,14	286 075,43	285 402,53
30							14,98	30,21	288 246,63	
31							15,10	29,6	262 262,30	
32	3/10/2025	D11	0,4	-	4/11/2025	32	15,20	29,69	269 468,87	266 973,02
33							15,08	29,76	269 187,89	
34							15,12	29,84	278 881,87	
35	3/10/2025	D12	0,4	4%	4/11/2025	32	15,20	29,93	276 584,31	275 614,52
36							15,06	29,98	271 377,38	
37							15,06	30,03	276 966,61	
38	4/10/2025	D13	0,4	6%	5/11/2025	32	15,13	30,09	276 966,61	277 671,44
39							15,25	30,16	279 081,09	
40							15,10	30,24	282 881,09	
41	4/10/2025	D14	0,4	8%	5/11/2025	32	15,02	29,55	282 721,92	283 087,29
42							15,12	29,64	283 658,85	
43							15,20	29,72	300 678,50	
44	4/10/2025	D15	0,4	10%	5/11/2025	32	15,06	29,82	300 137,34	297 260,41
45							15,15	29,91	290 965,40	
46							15,06	30,00	283 090,00	
47	7/10/2025	OPT	0,4	10%	5/12/2025	28	15,00	30,12	280 758,93	282 314,30
48							15,20	30,27	283 093,99	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.3. Resultados del módulo de elasticidad experimental mediante el ensayo de resistencia a flexión de las probetas prismáticas de concreto

En la Tabla N.º 52 se presentan los resultados obtenidos del ensayo de resistencia a flexión realizado en probetas prismáticas de concreto, mediante el cual se determinó experimentalmente el módulo de elasticidad del material. En dicha tabla se detallan los valores correspondientes a las dimensiones promedio de las probetas ensayadas, la carga máxima aplicada hasta alcanzar la falla, la deflexión registrada durante el proceso de carga y el módulo de elasticidad calculado para cada muestra evaluada.

El ensayo de flexión permite conocer el comportamiento del concreto frente a esfuerzos de tracción generados en la zona inferior de la sección transversal de la probeta, simulando las condiciones de trabajo a las que pueden estar sometidos elementos estructurales como losas y pavimentos rígidos. A partir de la relación entre la carga aplicada y la deformación producida durante el ensayo, se determinó la rigidez del material mediante el cálculo del módulo de elasticidad experimental.

Para cada diseño de mezcla se realizaron los cálculos correspondientes, considerando las características geométricas de las probetas y los valores registrados durante el ensayo. Asimismo, se presenta el valor promedio del módulo de elasticidad obtenido, el cual permite representar de manera más confiable el comportamiento del concreto ante solicitaciones de flexión, reduciendo la variabilidad propia de los ensayos experimentales.

Los resultados obtenidos permiten evaluar la influencia de las diferentes dosificaciones de concreto sobre su capacidad para resistir deformaciones bajo cargas flexionantes. Además, posibilitan comparar el comportamiento entre el concreto patrón y las mezclas modificadas con microsílice, identificando la variación de la rigidez del material conforme se incrementa el porcentaje de incorporación de este mineral.

Las diferencias observadas entre los valores de módulo de elasticidad pueden estar relacionadas con diversos factores, tales como la relación agua/cemento, el contenido de microsílice, la calidad de los materiales utilizados, la distribución de los agregados, las condiciones de elaboración y curado de las probetas, así como la propia heterogeneidad del concreto como material compuesto.

Finalmente, los resultados obtenidos mediante este ensayo fueron considerados para el análisis comparativo del comportamiento mecánico del concreto, permitiendo establecer la relación entre la incorporación de microsílice y la mejora de la rigidez del material. Asimismo, constituyen información fundamental para el desarrollo del análisis estadístico y la determinación de la mezcla con mejores características mecánicas dentro de las condiciones evaluadas en la investigación.

Tabla 52

Resultados del ensayo de resistencia a flexión de las probetas prismáticas.

Código	a/c	Microsílice	Fecha de ensayo	Tiempo de curado (días)	Medidas promedio de la muestra (cm)			Ubicación de la falla	Carga en el punto de rotura	Deflexión (cm)	Módulo de Elasticidad (kgf/cm²)	Promedio módulo de elasticidad (kgf/cm²
					Ancho	Altura	Longitud entre apoyos					
					15,03	15,15	45	Tercio central	3 295,34	0,00254	192 979,94	
D1	0,60	-	29/10/2025	30	15,00	15,10	45	Tercio central	3 484,04	0,00273	191 728,22	228 206,27
					15,08	15,04	45	Tercio central	3 752,11	0,00189	299 910,67	
					15,12	15,04	45	Tercio central	3 479,50	0,00229	229 657,40	
D2	0,60	4%	29/10/2025	30	15,06	15,10	45	Tercio central	3 440,95	0,00258	199 320,69	240 212,28
					15,15	14,98	45	Tercio central	3 384,25	0,00177	291 658,75	
					15,10	15,08	45	Tercio central	2 731,53	0,00126	324 858,36	
D3	0,60	6%	29/10/2025	30	15,12	15,04	45	Tercio central	3 088,05	0,00187	248 553,50	276 454,70
					15,60	15,20	45	Tercio central	3 512,16	0,00194	255 952,22	
					15,05	15,02	45	Tercio central	3 496,74	0,00198	269 281,20	
D4	0,60	8%	30/10/2025	30	15,10	15,15	45	Tercio central	3 122,98	0,00200	231 174,12	243 017,49
					14,90	15,06	45	Tercio central	3 222,32	0,00215	228 597,13	
					15,12	15,02	45	Tercio central	3 505,36	0,00154	345 329,66	
D5	0,60	10%	30/10/2025	30	15,00	15,18	45	Tercio central	3 130,69	0,00122	379 643,50	366 348,25
					15,08	15,02	45	Tercio central	3 086,24	0,00125	374 071,59	
					15,00	15,10	45	Tercio central	3 461,81	0,00187	278 254,38	
D6	0,50	-	30/10/2025	30	15,02	15,00	45	Tercio central	3 587,00	0,00168	326 990,77	273 670,80
					15,06	14,98	45	Tercio central	3 441,85	0,00245	215 767,25	
					15,08	15,04	45	Tercio central	3 783,41	0,00148	386 440,32	
D7	0,50	4%	3/11/2025	33	15,02	14,98	45	Tercio central	3 472,25	0,00194	274 788,34	323 152,43
					15	15,10	45	Tercio central	3 641,89	0,00178	308 228,65	

Código	a/c	Microsílice	Fecha de ensayo	Tiempo de curado (días)	Medidas promedio de la muestra (cm)			Ubicación de la falla	Carga en el punto de rotura	Deflexión (cm)	Módulo de Elasticidad (kgf/cm²)	Promedio módulo de elasticidad (kgf/cm²
					Ancho	Altura	Longitud entre apoyos					
					15,06	15,10	45	Tercio central	3 756,19	0,00115	489 733,22	
D8	0,50	6%	3/11/2025	33	15,08	15,15	45	Tercio central	3 906,33	0,00168	344 477,24	379 836,75
					15,12	14,95	45	Tercio central	3 318,02	0,00167	305 299,77	
					15,12	15,08	45	Tercio central	3 268,58	0,00183	267 395,91	
D9	0,50	8%	3/11/2025	33	15,13	14,98	45	Tercio central	3 589,73	0,00173	317 329,69	336 868,20
					15,06	15,13	45	Tercio central	2 861,71	0,00100	425 879,01	
					15,12	14,92	45	Tercio central	3 014,57	0,00150	310 374,40	
D10	0,50	10%	4/11/2025	32	15,10	15,15	45	Tercio central	3 686,34	0,00122	447 891,23	356 705,60
					14,98	15,00	45	Tercio central	3 208,71	0,00158	311 851,16	
					15,10	15,20	45	Tercio central	3 932,19	0,00233	247 043,14	
D11	0,40	-	4/11/2025	32	15,20	15,10	45	Tercio central	4 066,91	0,00197	305 779,01	311 637,96
					15,08	14,98	45	Tercio central	3 689,06	0,00148	382 091,71	
					15,12	15,08	45	Tercio central	3 675,00	0,00282	195 185,23	
D12	0,40	4%	4/11/2025	32	15,20	15,00	45	Tercio central	3 669,56	0,00142	391 386,45	308 671,04
					15,06	15,04	45	Tercio central	3 875,94	0,00173	339 441,44	
					15,06	14,98	45	Tercio central	4 791,75	0,00112	656 020,38	
D13	0,40	6%	5/11/2025	32	15,13	15,20	45	Tercio central	3 671,83	0,00134	401 380,16	507 873,44
					15,25	15,25	45	Tercio central	3 591,99	0,00111	466 219,78	
					15,10	15,08	45	Tercio central	3 550,72	0,00194	273 686,88	
D14	0,40	8%	5/11/2025	32	15,02	15,20	45	Tercio central	3 933,55	0,00252	229 712,90	252 042,24
					15,12	15,05	45	Tercio central	3 815,16	0,00227	252 726,93	
					15,20	15,13	45	Tercio central	3 610,59	0,00135	394 354,11	
D15	0,40	10%	5/11/2025	32	15,06	15,15	45	Tercio central	3 855,53	0,00205	278 785,15	324 884,54
					15,15	14,98	45	Tercio central	3 857,35	0,00195	301 514,34	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.3.2.4. Resultados del módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico

El módulo de elasticidad del concreto representa su capacidad para resistir deformaciones cuando es sometido a esfuerzos, constituyendo un parámetro fundamental para evaluar su rigidez y comportamiento estructural. En la presente investigación se realiza la comparación entre el módulo de elasticidad estático experimental y el módulo de elasticidad empírico, con la finalidad de determinar el grado de correspondencia entre los valores obtenidos mediante ensayos de laboratorio y aquellos estimados a partir de expresiones establecidas en normas y códigos de diseño.

El módulo de elasticidad estático corresponde al valor determinado experimentalmente a partir de la relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación unitaria longitudinal producida en una probeta cilíndrica de concreto sometida a carga axial. Este valor refleja directamente el comportamiento del concreto elaborado bajo las condiciones y características propias de cada diseño de mezcla estudiado.

Por otro lado, el módulo de elasticidad empírico se obtiene mediante ecuaciones que relacionan principalmente la resistencia a la compresión del concreto con su módulo de elasticidad. Estas expresiones han sido desarrolladas a partir de resultados experimentales de numerosos concretos y permiten estimar la rigidez del material sin realizar directamente el ensayo del módulo de elasticidad.

La comparación entre ambos valores permite evaluar si las expresiones empíricas representan adecuadamente el comportamiento del concreto incorporado con microsílice. Esto resulta especialmente importante debido a que la incorporación de microsílice y la variación de la relación agua/cemento pueden modificar la resistencia, la estructura interna y la rigidez del concreto, generando diferencias entre el módulo obtenido experimentalmente y el estimado mediante ecuaciones empíricas.

Tabla 53

Comparación del módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico.

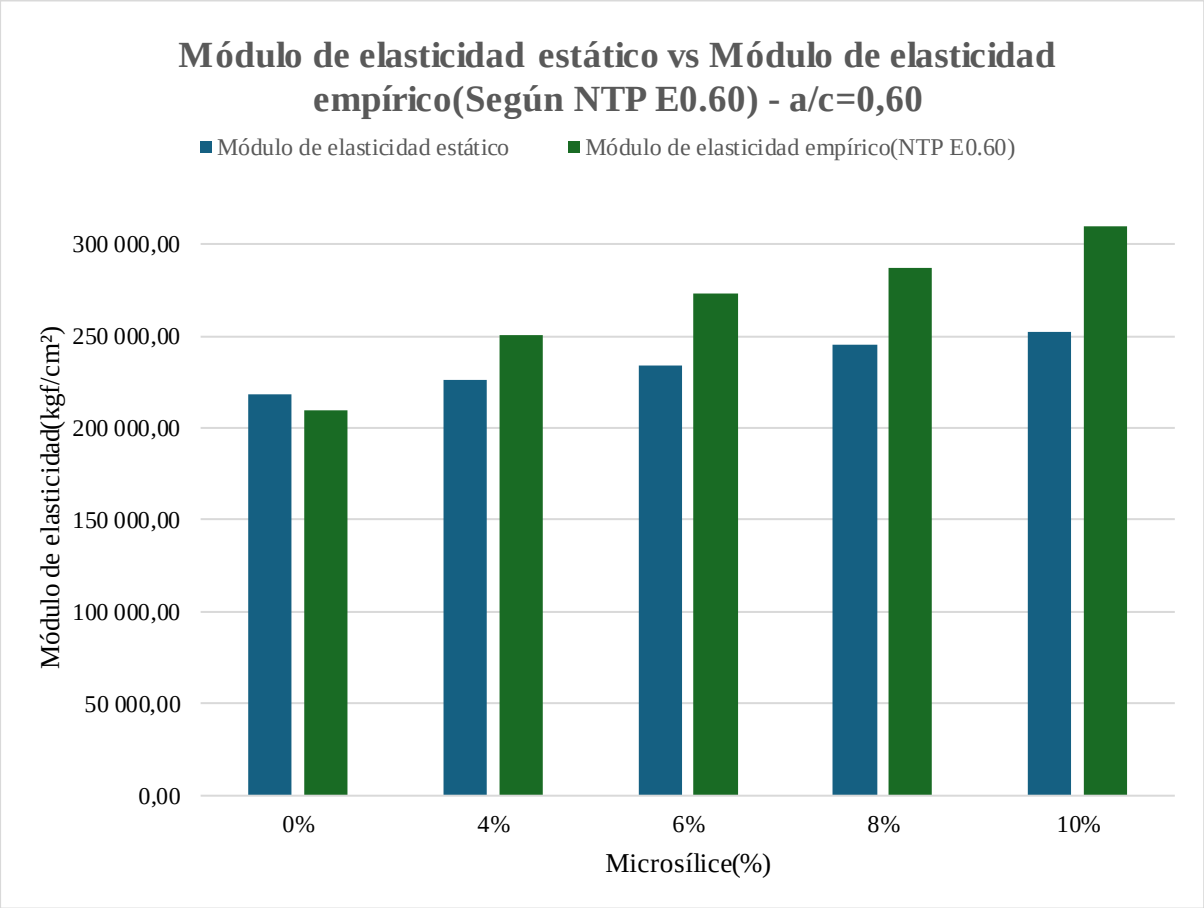
Código	Fecha de ensayo	a/c	Microsílice (%)	Resistencia a compresión promedio(kg/cm2)	Módulo de elasticidad estático(kg/cm2)	Módulo de elasticidad (Según NTP E0.60) (kg/cm2)
D1	29/10/2025	0,60	0%	194,84	217866,39	209375,86
D2	29/10/2025	0,60	4%	279,56	226215,56	250799,22
D3	29/10/2025	0,60	6%	330,47	233910,13	272683,88
D4	30/10/2025	0,60	8%	365,78	245035,90	286879,33
D5	30/10/2025	0,60	10%	425,71	251779,94	309492,33
D6	30/10/2025	0,50	0%	284,38	244484,40	252953,55
D7	3/11/2025	0,50	4%	344,23	260509,36	278300,20
D8	3/11/2025	0,50	6%	357,39	259788,98	283572,74

Código	Fecha de ensayo	a/c	Microsílice (%)	Resistencia a compresión promedio(kg/cm2)	Módulo de elasticidad estático(kg/cm2)	Módulo de elasticidad (Según NTP E0.60) (kg/cm2)
D9	3/11/2025	0,50	8%	395,21	271183,54	298198,34
D10	4/11/2025	0,50	10%	462,36	281885,54	322539,53
D11	4/11/2025	0,40	0%	383,14	262262,30	293609,43
D12	4/11/2025	0,40	4%	416,97	278881,87	306298,87
D13	5/11/2025	0,40	6%	435,42	276966,61	313002,00
D14	5/11/2025	0,40	8%	449,09	282881,09	317877,33
D15	5/11/2025	0,40	10%	478,98	300678,50	328285,32
OPT	5/12/2025	0,40	10%	452,67	283090,00	319140,64

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 17

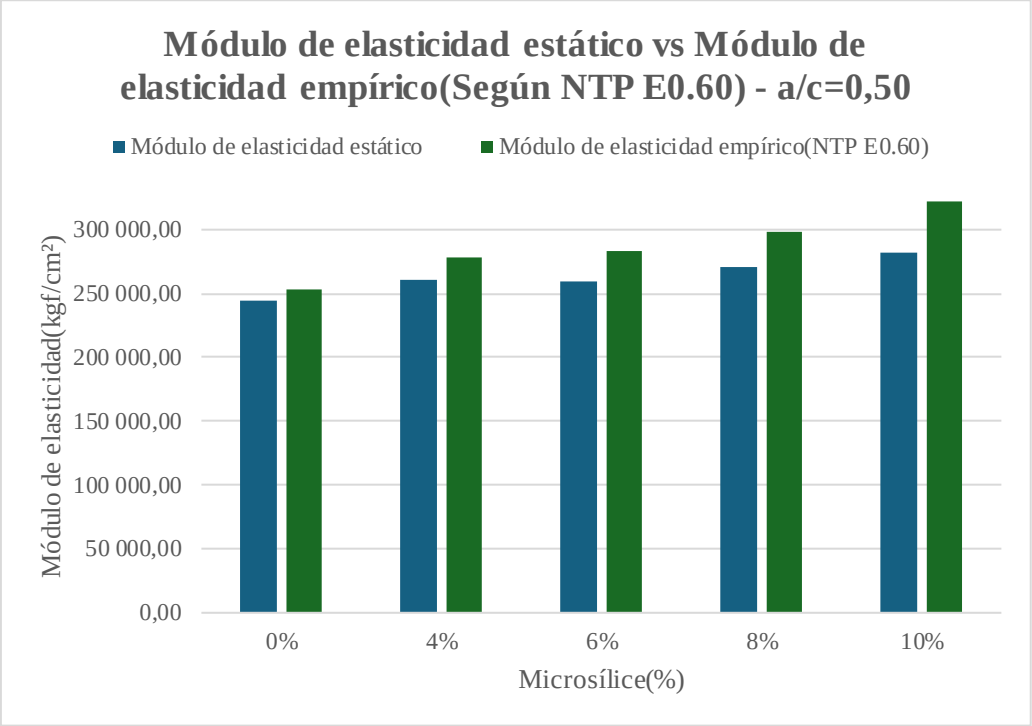
Módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico para relación a/c=0,60



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 18

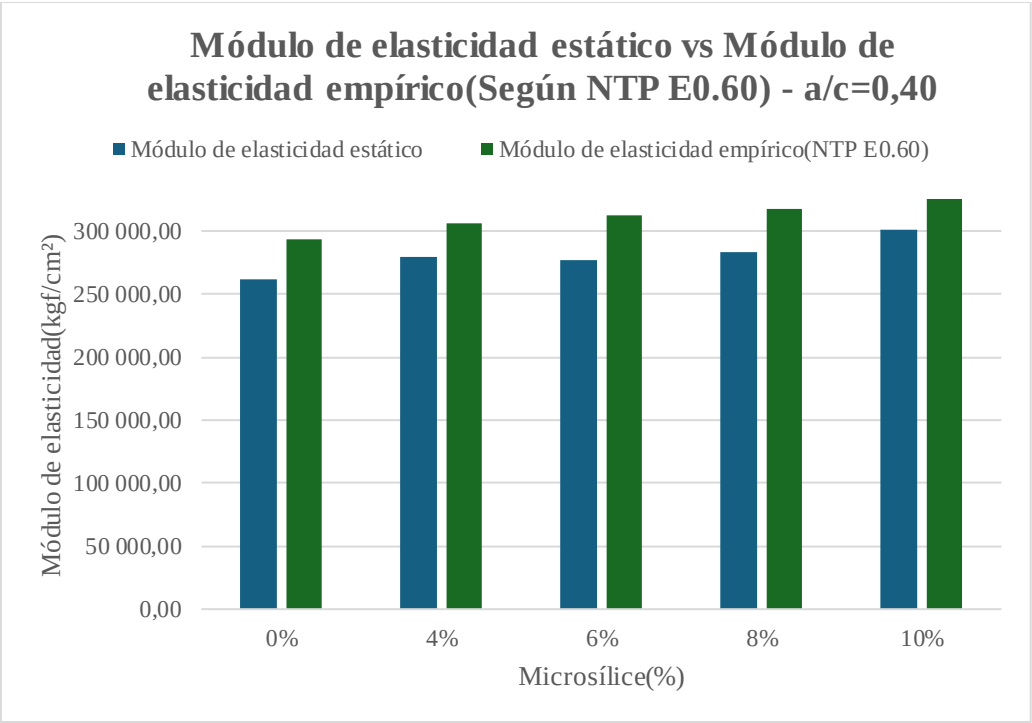
Módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico para relación a/c=0,50.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 19

Módulo de elasticidad estático vs módulo de elasticidad empírico para relación a/c=0,40.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.4. Resultados de los especímenes del diseño óptimo aplicado en obra

4.4.1. Ensayo en concreto fresco en obra

4.4.1.1. Resultados del ensayo de revenimiento de obra

En la aplicación del diseño óptimo en campo se realizó el control de revenimiento de la mezcla, en la Tabla N° 53 se muestra el resultado obtenido que tuvo un valor de 6,1cm.

Tabla 54

Resultado del revenimiento de la mezcla del diseño óptimo en obra.

N° de ensayo	Código	a/c	Microsílice (%)	N° de probetas cilíndricas	N° de probetas prismáticas	Slump (cm)	Slump (pulgadas)
1	O	0,40	10%	6	3	6,1	2,4

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.4.2. Ensayo del concreto endurecido de obra

4.4.2.1. Resultados del ensayo de compresión de las probetas cilíndricas de obra

En la Tabla N.º 54 se presentan los resultados del ensayo de resistencia a compresión de las tres probetas cilíndricas elaboradas en obra, donde se consignan los valores individuales de resistencia obtenidos para cada espécimen. Asimismo, se incluye el valor promedio de la resistencia a compresión, el cual representa de manera confiable el comportamiento del concreto en condiciones reales.

4.4.2.2. Resultados del ensayo de resistencia a flexión de las probetas prismáticas de obra

En la Tabla N.º 55 se muestran los resultados del ensayo de resistencia a flexión realizado en las tres probetas prismáticas de concreto de obra. En dicha tabla se consignan los valores de deflexión registrados durante el ensayo, así como la carga aplicada en el punto de rotura. A partir de estos parámetros, se realizó el cálculo del módulo de elasticidad experimental, permitiendo evaluar la rigidez del concreto bajo solicitaciones de flexión.

4.4.2.3. Resultados del ensayo de módulo de elasticidad estático de las probetas cilíndricas de obra

En la Tabla N.º 56 se presentan los resultados del ensayo de módulo de elasticidad estático de las probetas cilíndricas de concreto de obra, obtenidos experimentalmente en laboratorio. Para su determinación, se realizaron ciclos de carga controlados, registrándose las deformaciones correspondientes. Los valores Ec_1 y Ec_2 representan los módulos de elasticidad obtenidos en los dos ciclos considerados en el análisis, mientras que Ec corresponde al valor promedio adoptado como representativo del material. Estos resultados permiten evaluar la rigidez del concreto en condiciones reales de ejecución, así comparar con los valores obtenidos en laboratorio y con referencias normativas.

Tabla 55

Resultados del ensayo de compresión de las probetas cilíndricas a pie de obra.

N° de ensayo	Fecha de vaciados	Código	a/c	Microsílice (%)	Fecha de rotura	Tiempo de curado (días)	Altura (cm)	Diámetro (cm)	Relación (Altura/ Diámetro)	Carga (kgf)	Resistencia a compresión (kgf/cm²)	Resistencia compresión promedio(kgf/cm²)	Tipo de falla
46							30,07	15,12	1,99	82 277	458,23		3
47	07/11/2025	OTP	0,40	10%	5/12/2025	28	30,40	15,23	2,00	81 534	447,56	452,57	5
48							30,03	15,24	1,97	82 493	452,23		2

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56

Resultados del ensayo a flexión de las probetas prismáticas a pie de obra.

Código	a/c	Microsílice	Fecha de ensayo	Tiempo de curado (días)	Medidas promedio de la muestra (cm) Ancho	Altura	Longitud entre apoyos	Ubicación de la falla	Carga en el punto de rotura	Deflexión (cm)	Módulo de Elasticidad (kgf/cm²)	Prom. módulo de elasticidad (kgf/cm²)
OPT	0,40	10%	5/12/2025	28	15,06	15,02	45	Tercio central	3 044,059	0,00170	272 377,35	253035,00
					15	15,1	45	Tercio central	3 023,194	0,00215	210 868,26	
					15,2	14,98	45	Tercio central	3 440,499	0,00189	275 859,39	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 57

Resultados del módulo de elasticidad estático de las probetas cilíndricas a pie de obra.

N° de ensayo	Fecha de elaboración	Código	a/c	Microsílice	Fecha de ensayo	Tiempo de curado (días)	Medidas promedio de la muestra (cm) Diámetro	Altura	Módulo de Elasticidad (kgf/cm²)	Promedio módulo de elasticidad (kgf/cm²)
46							15,06	30	283 090,00	
47	7/10/2025	OPT	0,4	10%	5/12/2025	28	15	30,12	280 758,93	282 314,30
48							15,2	30,27	283 093,99	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

4.5. Resultados e interpretación del proceso estadístico

Definición de variables y base de datos

Se evaluó el módulo de elasticidad del concreto (R1, kgf/cm²) en función de dos factores de proceso: A = relación agua/cemento (a/c) en el rango 0,40–0,60 y B = contenido de microsílice (%) en el rango 0–10. Cada combinación experimental fue ensayada con tres réplicas (n = 3), obteniéndose un total de 45 observaciones utilizadas para ajustar un modelo de Superficie de Respuesta (RSM) en Stat-Ease 360 (Design-Expert).

Selección del modelo y transformación de la respuesta

Con el objetivo de cumplir los supuestos de normalidad y varianza constante, se aplicó una transformación de potencia a la respuesta, con exponente $\lambda = -1{,}75$. En consecuencia, el ajuste estadístico se realizó sobre la variable transformada (R1)^−1,75; y los resultados se interpretan en la escala original (kgf/cm²) mediante retro-transformación.

Tabla 58

Resumen de ajuste (Fit Summary) y selección del modelo.

Modelo	p secuencial	p falta de ajuste	R² ajustado	Criterio
Lineal	< 0,0001	< 0,0001	0,9309	
2FI	< 0,0001	0,0001	0,9534	Sugerido
Cuadrático	< 0,0001	0,1171	0,9743	

Nota: Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con el Fit Summary (Tabla 57), el modelo cuadrático fue sugerido debido a que los términos adicionales resultaron significativos ($p < 0{,}0001$) y la falta de ajuste no fue significativa ($p = 0{,}1171$), condición deseable para un modelo predictivo. Además, el modelo cuadrático presentó el mayor R^2 ajustado.

Tabla 59

Estadísticos de resumen del modelo (Model Summary Statistics).

Modelo	Desv. estándar	R²	R² ajustado	R² predicho
Lineal	1,419E-11	0,9340	0,9309	
2FI	1,165E-11	0,9566	0,9534	0,9695
Cuadrático	8,653E-12	0,9772	0,9743	

Nota: Fuente: Elaboración propia

Tabla 60

Prueba de falta de ajuste (Lack of Fit Tests).

Modelo	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Lineal	6,542E-21	12	5,452E-22	8,57	< 0,0001
2FI	3,653E-21	11	3,321E-22	5,22	0,0001
Cuadrático	1,011E-21	9	1,124E-22	1,77	0,1171 (ns)
Error puro	1,909E-21	30	6,363E-23		

Nota: Fuente: Elaboración propia

ANOVA del modelo cuadrático

La Tabla 60 presenta el análisis de varianza (ANOVA) para el modelo cuadrático (con respuesta transformada). El modelo global fue significativo ($F = 334,44$; $p < 0.0001$), lo cual evidencia que la relación entre los factores y el módulo de elasticidad no se debe al azar. Los términos lineales A y B, la interacción AB y los términos cuadráticos A^2 y B^2 fueron significativos ($p < 0,05$). El efecto dominante correspondió a la relación a/c (A), con el mayor valor F (1129,77), indicando su influencia predominante sobre R1 dentro del rango evaluado.

Tabla 61

ANOVA del modelo cuadrático para la respuesta R1 (transformación de potencia $\lambda = -1.75$).

Fuente	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	p-valor
Modelo	1,252E-19	5	2,504E-20	334,44	< 0,0001
A	8,459E-20	1	8,459E-20	1129,77	< 0,0001
B	3,839E-20	1	3,839E-20	512,66	< 0,0001
AB	2,889E-21	1	2,889E-21	38,58	< 0,0001
A^2	1,950E-21	1	1,950E-21	26,05	< 0,0001
B^2	6,918E-22	1	6,918E-22	9,24	0,0042
Residual	2,920E-21	39	7,483E-23		
Falta de ajuste	1,011E-21	9	1,124E-22	1,77	0,1171 (ns)
Error puro	1,909E-21	30	6,363E-23		
Total corregido	1,281E-19	44			

Nota: Fuente: Elaboración propia

Calidad del ajuste y capacidad predictiva

Los estadísticos de ajuste del modelo cuadrático evidencian una alta capacidad explicativa: $R^2 = 0,9772$, R^2 ajustado = 0,9743 y R^2 predicho = 0,9695, valores cercanos entre sí, lo que sugiere buena estabilidad del modelo. El coeficiente de variación (C.V. = 2,54%) indica baja dispersión relativa. Adicionalmente, la precisión adecuada (Adeq Precision = 61.0184) es muy superior al valor mínimo recomendado de 4, lo cual refleja una relación señal/ruido suficiente para navegar el espacio de diseño.

Tabla 62

Estadísticos de ajuste (Fit Statistics) del modelo cuadrático.

Indicador	Valor
Desv. estándar	8,653E-12
Media (escala transformada)	3,410E-10
C.V. (%)	2,54
R^2	0,9772
R^2 ajustado	0,9743
R^2 predicho	0,9695
Adeq Precisión	61,0184

Nota: Fuente: Elaboración propia

Ecuación del modelo de superficie de respuesta

La ecuación final del modelo (en términos de factores reales) se expresa en la escala transformada como:

Ecuación: Ecuación final del modelo de superficie respuesta.

$$R1^{-1.75} = 3{,}83020\text{E}-10 \; - \; 7{,}14906\text{E}-10 \cdot \text{A} \; + \; 9{,}37819\text{E}-12 \cdot \text{B} \; - \; 2{,}85192\text{E}-11 \cdot \text{A} \cdot \text{B} \; + \; 1{,}39653\text{E}-09 \cdot \text{A}^2 \; - \; 3{,}61784\text{E}-13 \cdot \text{B}^2$$

donde A corresponde a la relación a/c y B al contenido de microsílice (%). Para el análisis de efectos estandarizados, Stat-Ease también reporta la ecuación en factores codificados:

Ecuación: ecuación en factores codificados.

$$R1^{-1.75} = 3{,}412\text{E}-10 \; + \; 5{,}390\text{E}-11 \cdot \text{A} \; - \; 4{,}250\text{E}-11 \cdot \text{B} \; - \; 1{,}426\text{E}-11 \cdot \text{A} \cdot \text{B} \; + \; 1{,}397\text{E}-11 \cdot \text{A}^2 \; - \; 9{,}045\text{E}-12 \cdot \text{B}^2$$

Debido a la transformación, las predicciones presentadas por el software (media y mediana predicha) pueden diferir ligeramente al volver a la escala original, especialmente al comparar con promedios aritméticos calculados directamente sobre los datos sin transformar.

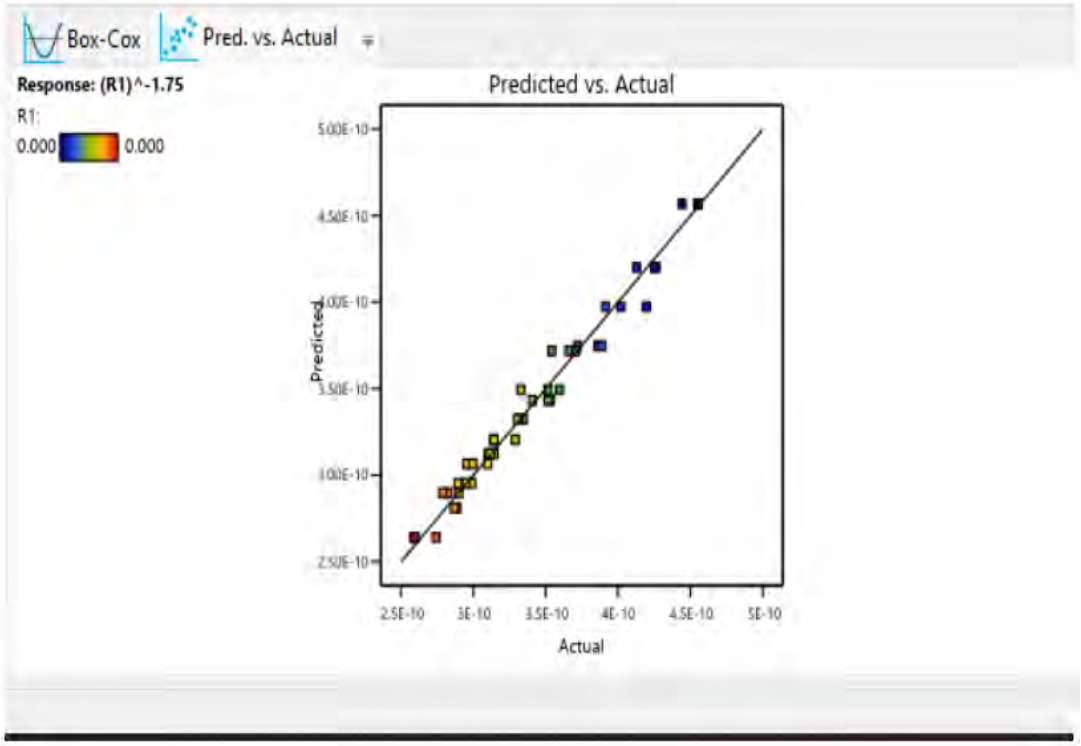
Diagnóstico de supuestos del modelo

Se evaluaron los supuestos de normalidad, independencia y homocedasticidad mediante los gráficos de diagnóstico. El gráfico Predicted vs. Actual evidencia una alta concordancia entre los valores observados y los predichos, ya que los puntos se distribuyen cerca de la línea 1:1. El Normal Plot of Residuals muestra alineamiento aproximado de los residuos con la recta teórica, lo cual es consistente con normalidad. En Residuals vs. Predicted no se aprecia un patrón sistemático (dispersión aleatoria alrededor de cero), lo que sugiere varianza aproximadamente constante en el rango analizado. En Residuals vs. Run los residuos oscilan alrededor de cero sin tendencia; adicionalmente, el estadístico Durbin–Watson (DW = 2,0925) cercano a 2 respalda la ausencia de autocorrelación relevante.

Finalmente, los gráficos de influencia (Cook's Distance y Leverage) no muestran observaciones con influencia excesiva que comprometa el ajuste del modelo.

Gráfico 20

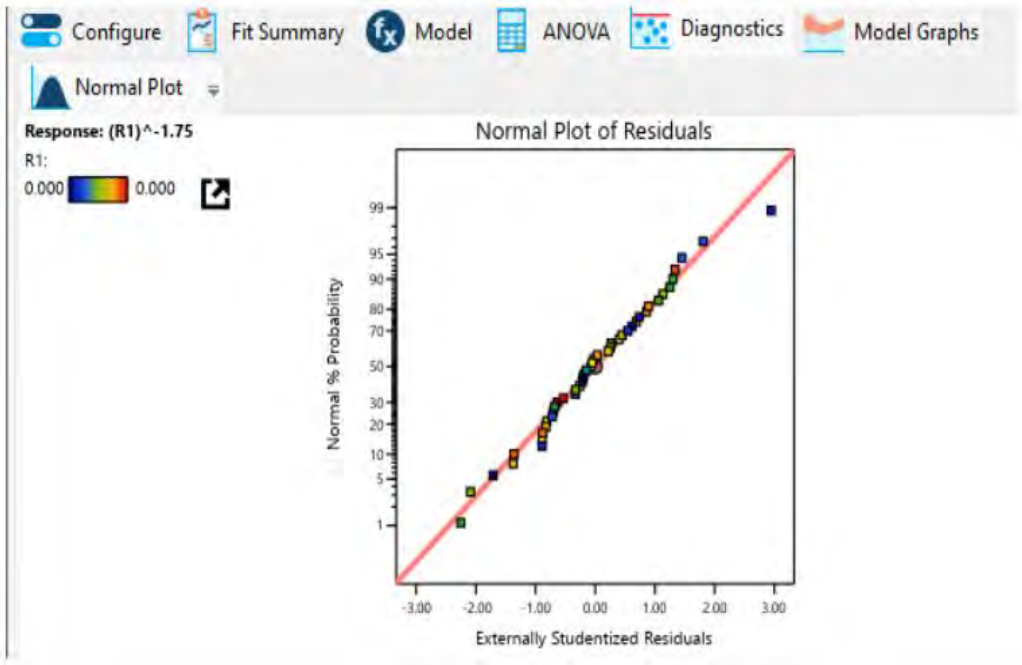
Valores predichos vs. valores observados (Predicted vs. Actual).



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 21

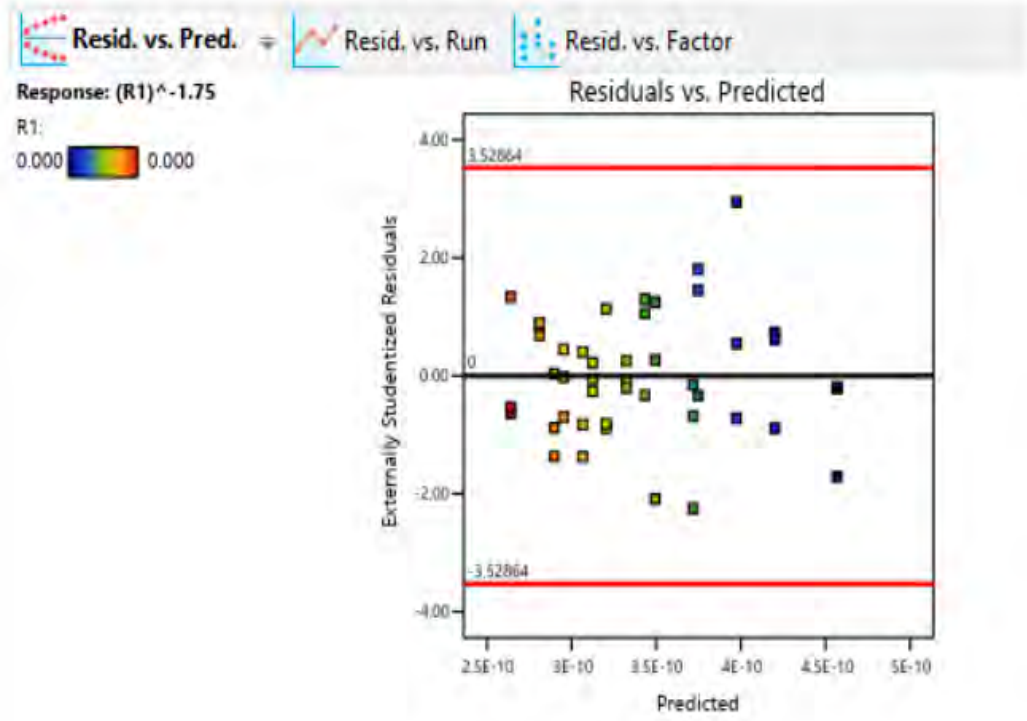
Gráfico normal de residuos (Normal Plot of Residuals).



Nota: Fuente: Elaboración propia

Gráfico 22

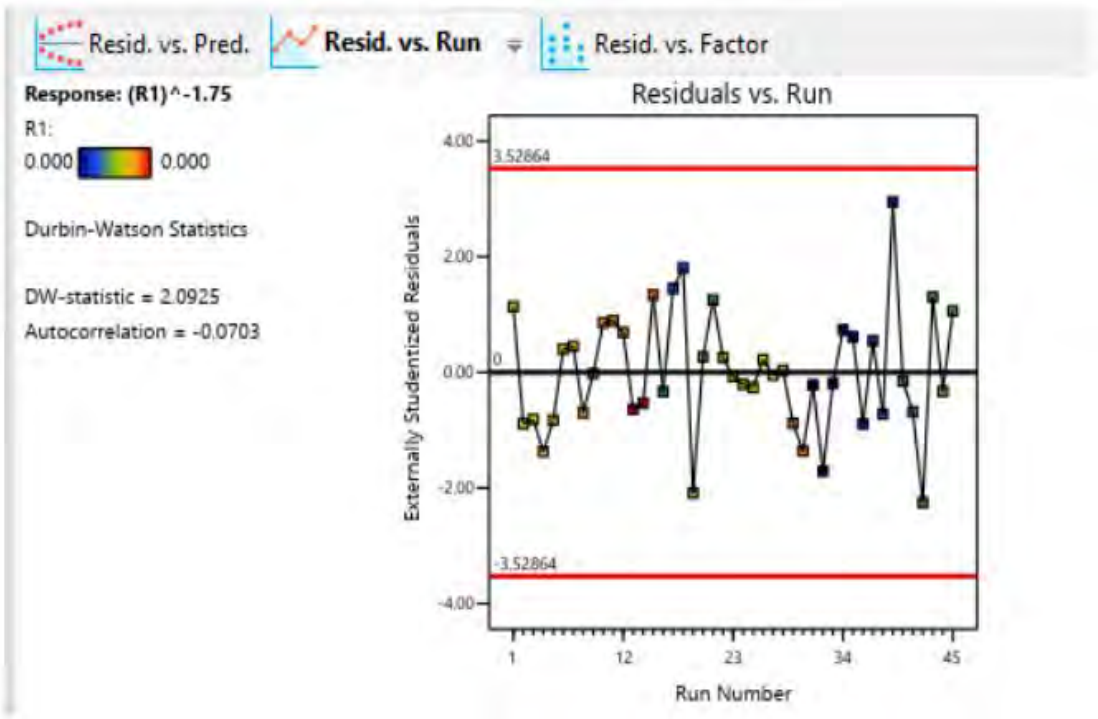
Residuos vs. predicción (Residuals vs. Predicted).



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 23

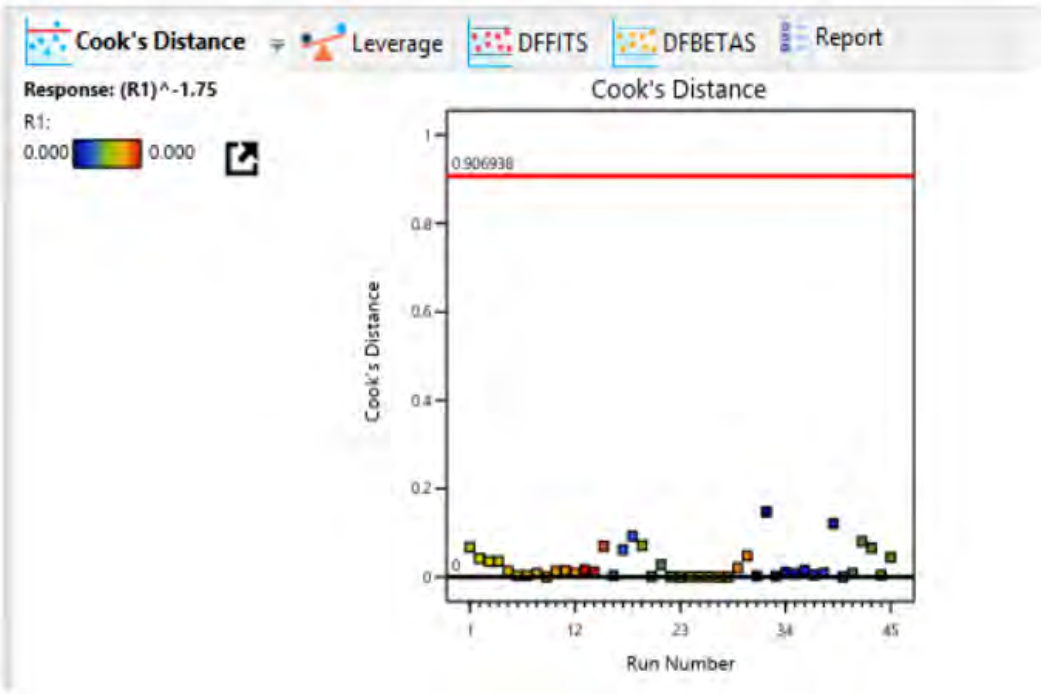
Residuos vs. corrida (Residuals vs. Run) y estadístico Durbin–Watson.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 24

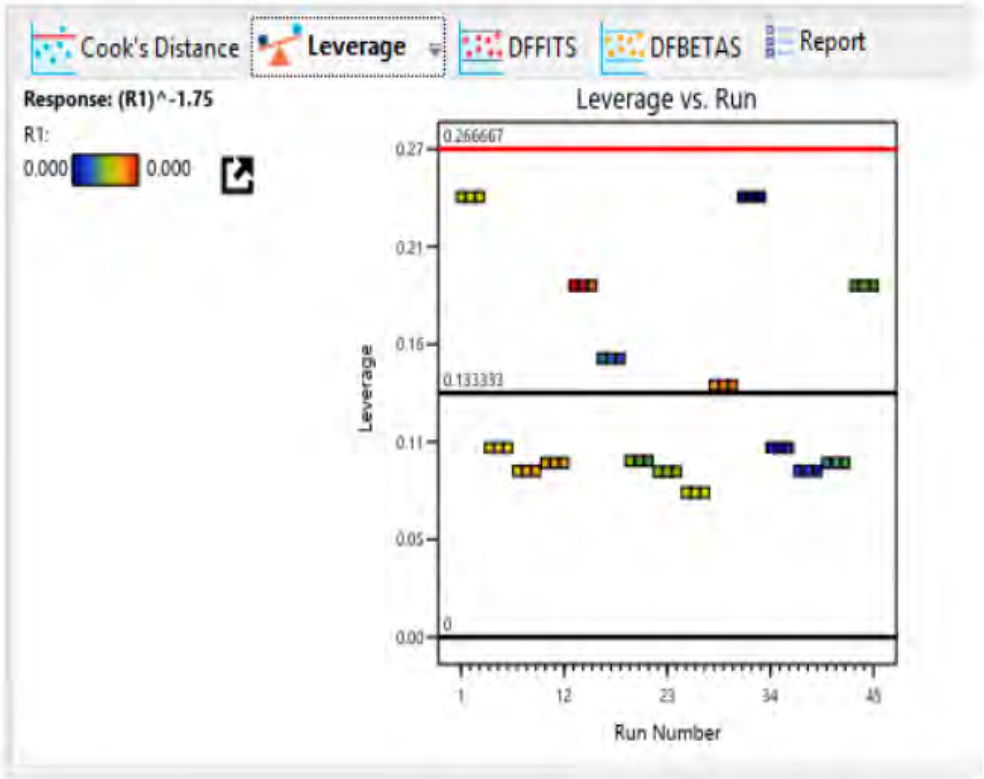
Distancia de Cook (Cook's Distance) para identificar puntos influyentes.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Gráfico 25

Leverage vs. Run para evaluar observaciones de alta palanca.



Nota: Fuente: Elaboración propia

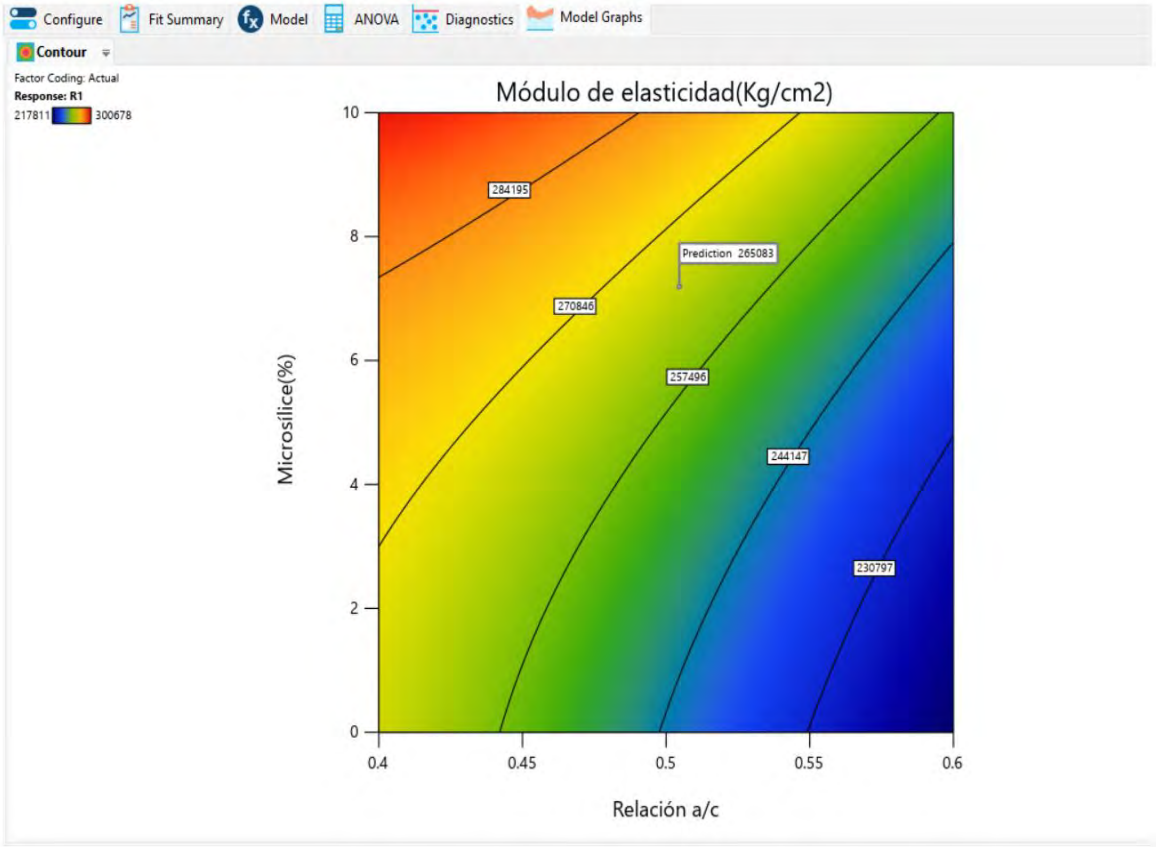
Interpretación de la superficie de respuesta

Los gráficos de contorno y superficie 3D permiten visualizar la tendencia del módulo de elasticidad en el espacio de diseño. En general, se observa que al disminuir la relación a/c (aproximándose a 0,40) y aumentar el porcentaje de microsílice (hasta 10 %) se incrementa el módulo de elasticidad. Esta tendencia concuerda con el efecto del factor A (relación a/c) como el más influyente, y con el aporte de la microsílice (B) para mejorar la rigidez del material dentro del rango evaluado.

El comportamiento observado indica que las mezclas con menor relación agua/cemento presentan una estructura interna más compacta, debido a una menor cantidad de agua disponible para generar poros durante el proceso de hidratación del cemento. Asimismo, el incremento del contenido de microsílice favorece la formación adicional de productos cementantes mediante su reacción puzolánica, además de producir un efecto de relleno que reduce los espacios vacíos dentro de la matriz del concreto.

Gráfico 26

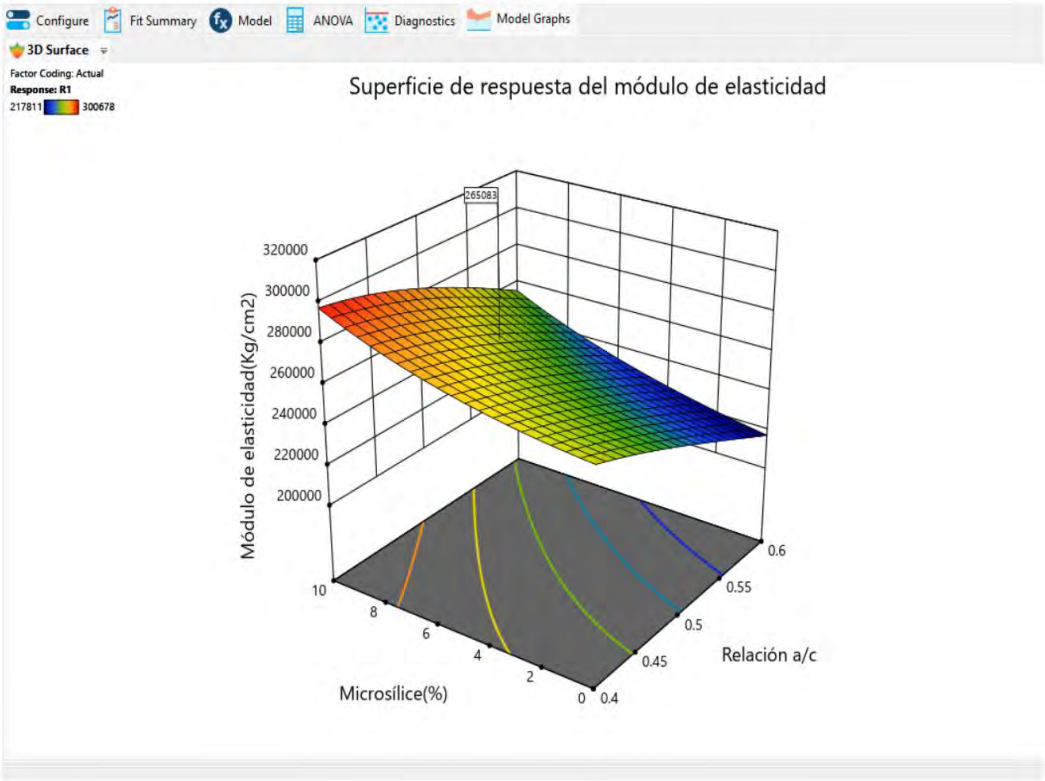
Mapa de contorno del módulo de elasticidad (kgf/cm²) en función de A y B.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Gráfico 27

Superficie 3D del módulo de elasticidad (kgf/cm²) en función de A y B.



Nota: Fuente: Elaboración propia

Optimización numérica (función de deseabilidad)

Se realizó una optimización numérica mediante función de deseabilidad para maximizar R1, restringiendo los factores a los rangos: A ∈ [0,40; 0,60] y B ∈ [0, 10]. La solución seleccionada presentó una deseabilidad global de 0,974, con A = 0,40 y B = 10%, y un valor predicho de R1 = 297544 kgf/cm².

Tabla 63

Resultados de optimización numérica (soluciones con mayor deseabilidad).

N°	A (a/c)	B (%)	R1 predicho (kgf/cm²)	Deseabilidad	Selección
1	0.4	10	297 544	0,974	Seleccionada
2	0,403623	9,99998	297 259	0,972	
3	0,40503	9,99997	297 142	0,971	
4	0,400001	9,84487	296 627	0,967	
5	0,421831	10	295 486	0,958	
6	0,429904	9,99998	294 522	0,950	
7	0,437325	10	293 545	0,942	
8	0,4	4,24999	273 793	0,764	

Nota: Fuente: Elaboración propia

Confirmación experimental del óptimo

Para verificar la solución óptima (A = 0,40; B = 10%), se ejecutó la herramienta de confirmación ingresando tres valores observados. Los resultados se resumen en la Tabla 63.

Tabla 64

Datos observados y resumen de confirmación en el punto óptimo (A = 0,40; B = 10%).

Réplica	R1 observado (kgf/cm²)
1	300 678
2	300 137
3	290 965

Indicador	Valor
A (relación a/c)	0,4
B (microsílice, %)	10
Media predicha	297 544
Mediana predicha	297 401
Media observada (Design-Expert)	297 167
n	3
Desv. estándar (observada)	202,827
Intervalo de predicción 95% (PI)	289 531 – 305 888

Nota: Fuente: Elaboración propia

La media observada reportada por Stat-Ease (297167 kgf/cm²) puede diferir del promedio aritmético calculado manualmente (por ejemplo, 297260,41 kgf/cm²) porque el software calcula la media sobre la escala transformada y luego realiza la retro-transformación a la escala original. Esta forma de cálculo es consistente con el ajuste del modelo y evita sesgos al trabajar con transformaciones de potencia.

El intervalo de predicción al 95% (289531–305888 kgf/cm²) cubre el promedio observado, por lo que la confirmación es consistente con la predicción del modelo. La desviación estándar (202,827) representa la variabilidad experimental entre réplicas en el punto de confirmación y se utiliza para estimar la dispersión esperada de nuevos resultados bajo las mismas condiciones.

Síntesis interpretativa

En conjunto, el modelo cuadrático con transformación de potencia ($\lambda = -1{,}75$) describe adecuadamente el comportamiento del módulo de elasticidad dentro del dominio experimental, con alta capacidad explicativa ($R^2 \approx 0{,}98$) y ausencia de falta de ajuste significativa. La relación a/c (A) es el factor de mayor influencia, seguida por el contenido de microsílice (B) y su interacción. Los diagnósticos muestran que el ajuste cumple razonablemente los supuestos y que no existen observaciones influyentes dominantes. La optimización sugiere que el mayor módulo de elasticidad se obtiene en A = 0,40 y B = 10%, resultado respaldado por la verificación experimental mediante la herramienta de confirmación.

CAPITULO V: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Análisis y discusión sobre la caracterización de los agregados

De acuerdo con la determinación de material fino que pasa el tamiz N° 200, según la NTP 400.018,20, se encontró que el agregado fino presentó 1,01%, mientras que el agregado grueso registró 3,95%.

Del análisis granulométrico del agregado fino realizado siguiendo los procedimientos indicados por la NTP 400.012-21, se encontró que presenta una buena distribución granulométrica y se mantiene dentro de los límites recomendados en la normativa; para el módulo de fineza se obtuvo el valor de 2,55 el cual está dentro del rango de 2,3 y 3,1 que indica la NTP 400.012-21. Para el agregado grueso se reportó un tamaño máximo nominal de 3/4" y tamaño máximo de 1 ½", y una distribución granulométrica que se mantiene dentro de los parámetros indicados por el Huso 56.

En las pruebas de peso específico y absorción, determinadas según la NTP 400.022-21, el agregado fino mostró un peso específico de 2,66 g/cm³ y una absorción de 1,32%. Por otra parte, el agregado grueso presentó un peso específico de 2,64 g/cm³ y una absorción de 0,98%. Estos resultados reflejan agregados de densidad típica y absorciones bajas a moderadas, lo cual es favorable porque reduce la variabilidad del agua efectiva durante el mezclado; sin embargo, estos valores deben considerarse en la corrección del agua para mantener constante la relación a/c.

Además, de acuerdo con el ensayo de contenido de humedad realizado conforme a la NTP 339.185-21, se obtuvo 0,46% para el agregado fino y un valor 0,23% para el agregado grueso. Estos resultados indican que ambos materiales presentaron una humedad reducida; en consecuencia, durante el mezclado podrían absorber parte del agua de la mezcla, por lo que fue necesario efectuar los ajustes correspondientes del agua.

En relación con el peso unitario, determinado según la NTP 400.017-20, el agregado fino registró 1626,54 kgf/m³en condición suelta, con un porcentaje de vacíos de 40.84% y 1796,91 kgf/m³ en condición varillada con un porcentaje de vacío de 34.65%. De manera análoga, el agregado grueso presentó un peso unitario de 1484,59 kgf/m³ en condición suelta, con un porcentaje de vacíos de 45.13% y 1616,02 kgf/m³ en condición varillada, con un porcentaje de vacíos de 40,27%. La diferencia entre ambos estados evidencia que, al compactarse, el material incrementa su densidad aparente debido al mejor acomodo de sus partículas, lo que implica una reducción de vacíos.

Finalmente, la resistencia a la abrasión del agregado grueso, evaluada conforme a la NTP 400.019-21, alcanzó 28,76%, lo que refleja un material con comportamiento adecuado frente al desgaste por impacto y fricción.

5.2. Análisis y discusión sobre los diseños de mezcla

En cuanto al diseño de mezclas se realizó 15 diseños de mezclas elaboradas mediante el método ACI 211.1-22, considerando como variables de estudio a la relación agua/material cementante en tres niveles (0,60; 0,50 y 0,40) y el porcentaje de microsílice (0%, 4%, 6%, 8% y 10%) que se incorporó como reemplazo parcial del peso del cemento. La cantidad de diseños permitió evaluar de manera sistemática el efecto individual y combinado de ambas variables sobre el desempeño del concreto.

En cada nivel de relación a/c (0,60; 0,50 y 0,40), el contenido de agua se mantuvo prácticamente constante (216,08; 215,59 y 214,85 litros respectivamente) y la relación se controló respecto al material cementante total (cemento + microsílice). Esto se logra porque la microsílice reemplaza proporcionalmente al cemento, conservando el material cementante total en cada grupo. De este modo, la comparación entre mezclas con diferentes porcentajes de microsílice se realiza bajo una condición equivalente de agua/cementante, evitando distorsiones por variaciones simultáneas del contenido de pasta.

Efecto de la relación a/c al mismo porcentaje de microsílice, al comparar un mismo porcentaje de microsílice entre grupos, el slump también se reduce al disminuir la relación a/c, para los concretos patrones (sin microsílice) de relación a/c (0,60; 0,50 y 0,40) sus slump fueron de 13,6 cm; 10,5cm y 9,6 cm respectivamente, y con 4% de microsílice en la mezcla se obtuvo slump de 10,7 cm; 9,3 cm y 7,2 cm respectivamente, seguidamente con el 10% de microsílice en la mezcla de obtuvo 4,1 cm; 3,4 cm y 2,9 cm respectivamente. Esto se explica porque, al bajar la a/c, se reduce la cantidad de agua disponible por unidad de material cementante, generando mezclas más secas o de menor fluidez. Aunque el agua por m³ cambia poco entre grupos, el material cementante total aumenta de manera importante cuando se baja la a/c, lo cual reduce el agua relativa del sistema y, por tanto, el slump.

Además, la reducción del slump con microsílice también puede interpretarse como una mezcla más cohesiva, con menor tendencia a segregación y exudación; por ello, aunque el asentamiento disminuya, la mezcla puede mostrar una estabilidad mejorada.

En síntesis, el diseño de mezclas está correctamente estructurado para evaluar el efecto de la microsílice y la relación a/c. Los resultados de slump confirman una tendencia consistente: a mayor contenido de microsílice y menor relación a/c, menor trabajabilidad, atribuible al incremento de finos y a la disminución del agua.

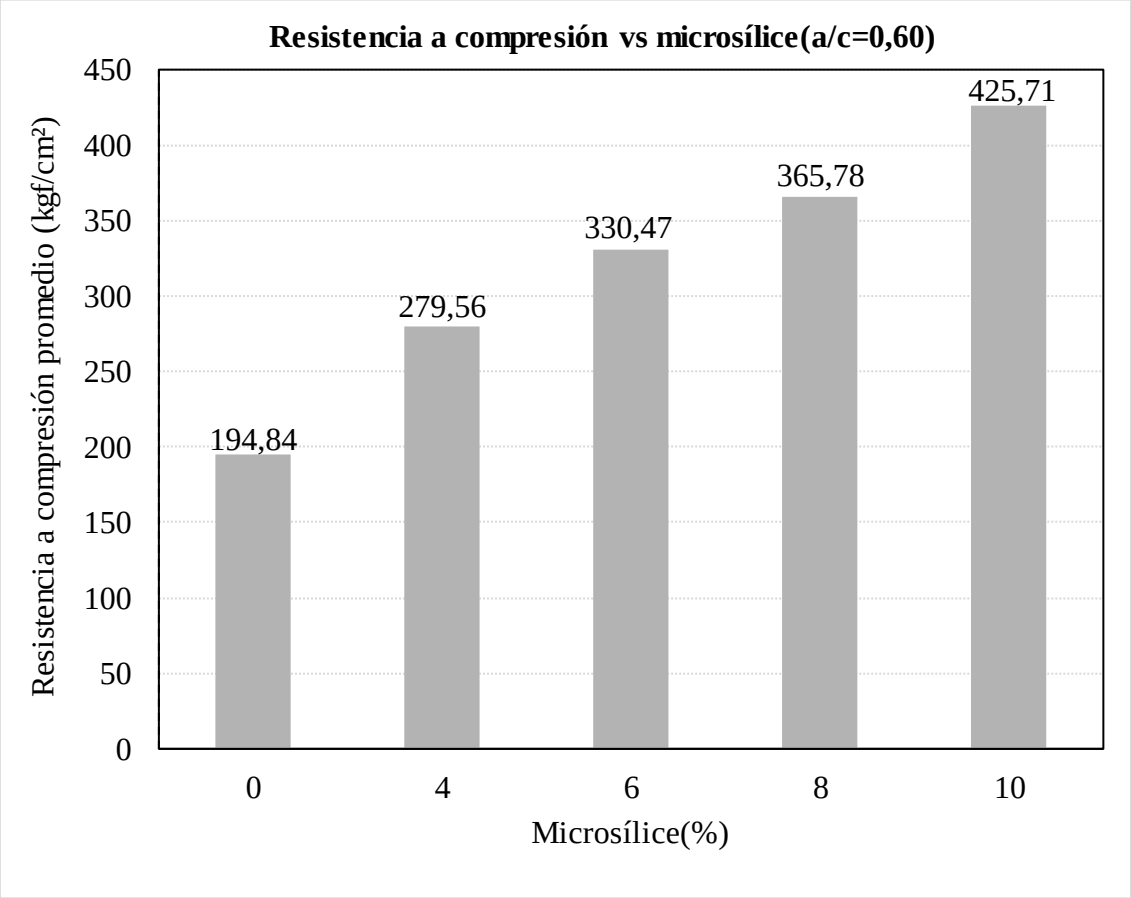
5.3. Análisis y discusión del ensayo de resistencia a compresión

En el gráfico 25 se presenta la variación de la resistencia a la compresión promedio en función del contenido de microsílice, manteniendo constante la relación a/c = 0,60. Se observa una tendencia creciente y sostenida: la mezcla patrón (0% microsílice) alcanzó 194,84 kgf/cm², mientras que con 4% se incrementó a 279,56 kgf/cm², con 6% a 330,47 kgf/cm², con 8% a 365,78 kgf/cm² y con 10% a 425,71 kgf/cm². En términos relativos, el reemplazo con microsílice elevó la resistencia en

aproximadamente 43,5% (4%), 69,6% (6%), 87,7% (8%) y 118,5% (10%) respecto a la mezcla sin adición, evidenciando un efecto altamente significativo del material cementante suplementario en este nivel de relación a/c.

Gráfico 28

Gráfica del incremento de la resistencia a compresión según la cantidad de microsílice reemplazada con una relación (a/c=0,60).

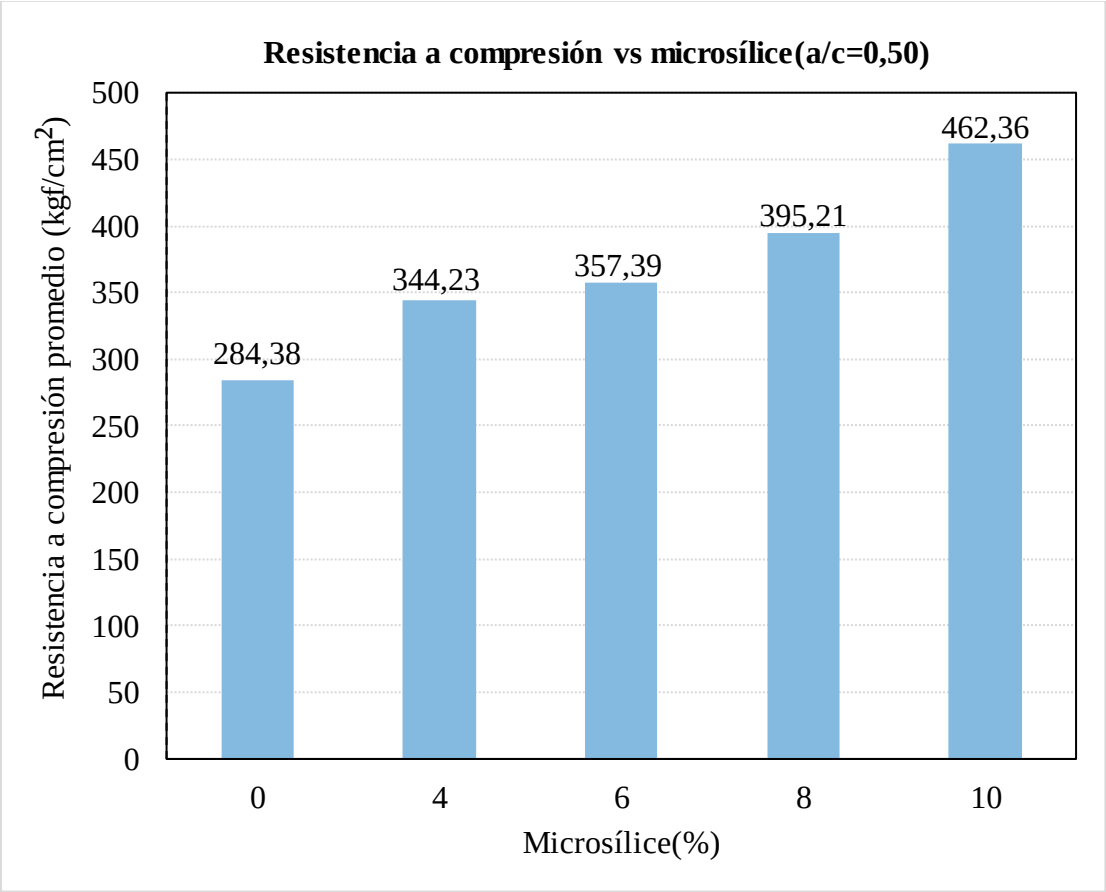


Nota: Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico 26 se muestra la variación de la resistencia a la compresión promedio en función del contenido de microsílice, manteniendo constante la relación a/c = 0,50. Se identifica una tendencia ascendente conforme aumenta el porcentaje de reemplazo: la mezcla patrón (0% microsílice) alcanzó 284,38 kgf/cm², incrementándose a 344,23 kgf/cm² con 4%, a 357,39 kgf/cm² con 6%, a 395,21 kgf/cm² con 8% y llegando a 462,36 kgf/cm² con 10%. En términos porcentuales, estas variaciones representan aumentos aproximados de 21,0%, 25,7%, 39,0% y 62,6%, respectivamente, respecto a la mezcla sin microsílice. Asimismo, se aprecia que el incremento de resistencia no es uniforme: el paso de 4% a 6% muestra una ganancia moderada, mientras que a partir de 8% el aumento se hace más marcado, alcanzando el máximo con 10%.

Gráfico 29

Gráfica del incremento de la resistencia a compresión según la cantidad de microsílice reemplazada con una relación (a/c=0,50).

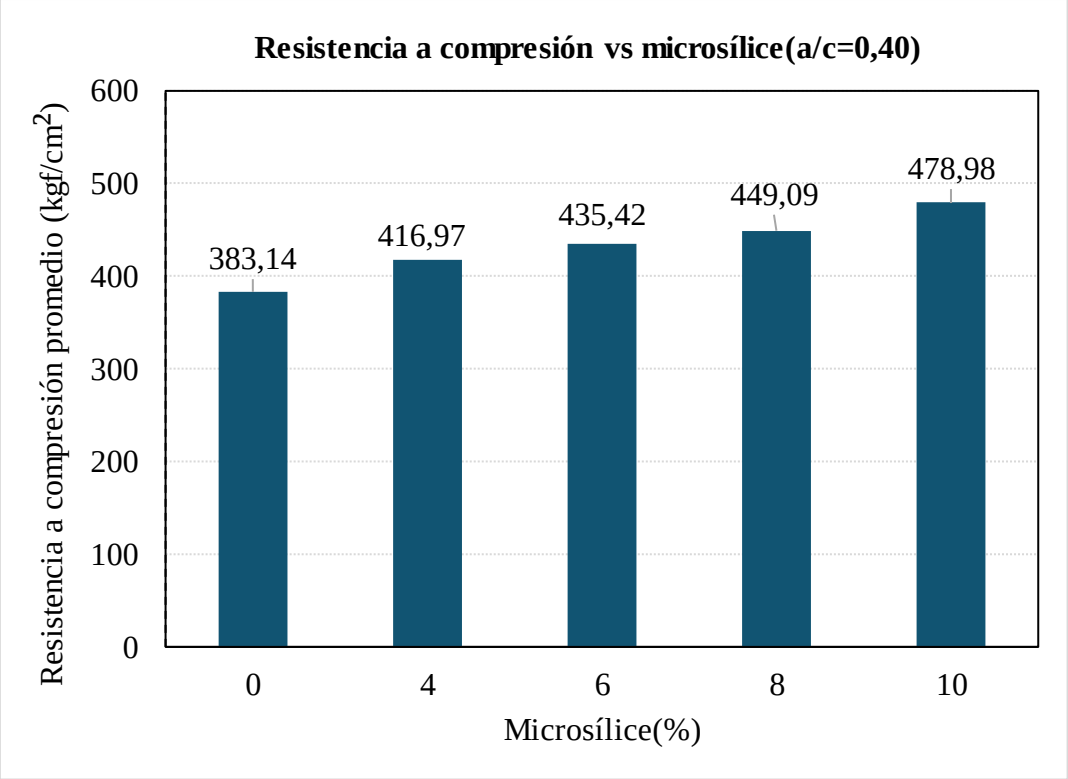


Nota: Fuente: Elaboración propia.

En el grafico 27 se presenta la relación entre el porcentaje de microsílice y la resistencia a la compresión promedio, manteniendo constante la relación a/c = 0,40. Los resultados evidencian un incremento progresivo de la resistencia conforme aumenta el nivel de reemplazo: la mezcla patrón (0% microsílice) alcanzó 383,14 kgf/cm², mientras que con 4% se elevó a 416,97 kgf/cm², con 6% a 435,42 kgf/cm², con 8% a 449,09 kgf/cm² y con 10% a 478,98 kgf/cm². En términos relativos, estos incrementos representan aproximadamente 8,8%, 13,6%, 17,2% y 25,0%, respectivamente, respecto al diseño sin microsílice. A diferencia de lo observado en relaciones a/c mayores, en este nivel (a/c = 0,40) las ganancias de resistencia son más moderadas.

Gráfico 30

Gráfica del incremento de la resistencia a compresión según la cantidad de microsílice reemplazada con una relación (a/c=0,40).



Nota: Fuente: Elaboración propia.

En el grafico 28 se presenta la comparación de la resistencia a la compresión promedio en función del porcentaje de microsílice para las tres relaciones a/c = 0,60; 0,50 y 0,40. El gráfico evidencia dos tendencias principales: a) para cualquier porcentaje de microsílice, la resistencia aumenta al disminuir la relación a/c; y b) para cada relación a/c, la resistencia se incrementa conforme se eleva el contenido de microsílice, confirmando el efecto favorable del reemplazo parcial del cemento dentro del rango evaluado.

Al comparar los diseños con 0% de microsílice, se observa el efecto directo de la relación a/c: la resistencia pasa de 194,84 kgf/cm² (a/c 0,60) a 284,38 kgf/cm² (a/c 0,50) y 383,14 kgf/cm² (a/c 0,40). Este comportamiento es consistente con el principio de que una menor relación a/c reduce la porosidad capilar y densifica la pasta, aumentando la capacidad resistente del concreto.

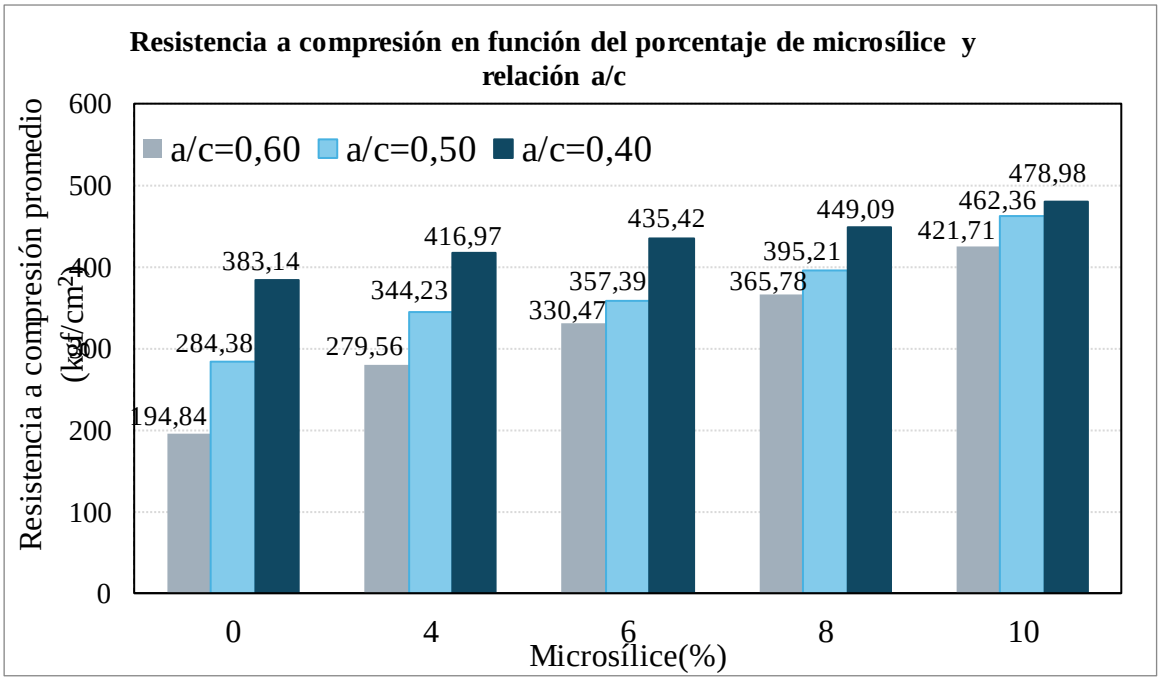
Además, al incorporar microsílice se aprecia un incremento sistemático en las tres series, aunque con distinta magnitud. Para a/c = 0,60, la resistencia crece de 194,84 a 425,71 kgf/cm², mostrando el mayor incremento relativo (aprox. +118%). Para a/c = 0,50, aumenta de 284,38 a 462,36 kgf/cm² (aprox. +63%). En a/c = 0,40, sube de 383,14 a 478,98 kgf/cm² (aprox. +25%). Esta diferencia de ganancias relativas sugiere que la microsílice aporta un efecto más marcado en mezclas con a/c más alta, donde existe mayor margen para densificar la microestructura, reducir porosidad y mejorar mediante el efecto micro relleno y la reacción puzolánica.

Asimismo, el gráfico permite identificar que el máximo valor de resistencia dentro de los niveles estudiados corresponde a la relación a/c = 0,40 con 10% de microsílice, alcanzando 478,98 kgf/cm². Sin embargo, también se aprecia que la relación a/c = 0,50 con 10% (462,36 kgf/cm²) se

aproxima a dicho desempeño, lo cual podría resultar relevante si se busca un equilibrio entre resistencia y trabajabilidad, dado que relaciones a/c más bajas y mayores contenidos de microsílice están asociados a un menor asentamiento.

Gráfico 31

Incremento de la resistencia a la compresión en función a la cantidad de microsílice añadida.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

5.4. Análisis y discusión sobre calculo experimental del módulo de elasticidad mediante la resistencia a flexión

De acuerdo con el grafico 29 del módulo de elasticidad en función del porcentaje de microsílice, se observa una tendencia creciente y progresiva del módulo de elasticidad a medida que aumenta el contenido de microsílice, independientemente de la relación a/c considerada. Este comportamiento indica que la microsílice actúa de manera efectiva como un aditivo mineral que mejora la rigidez del concreto sometido a esfuerzos de flexión.

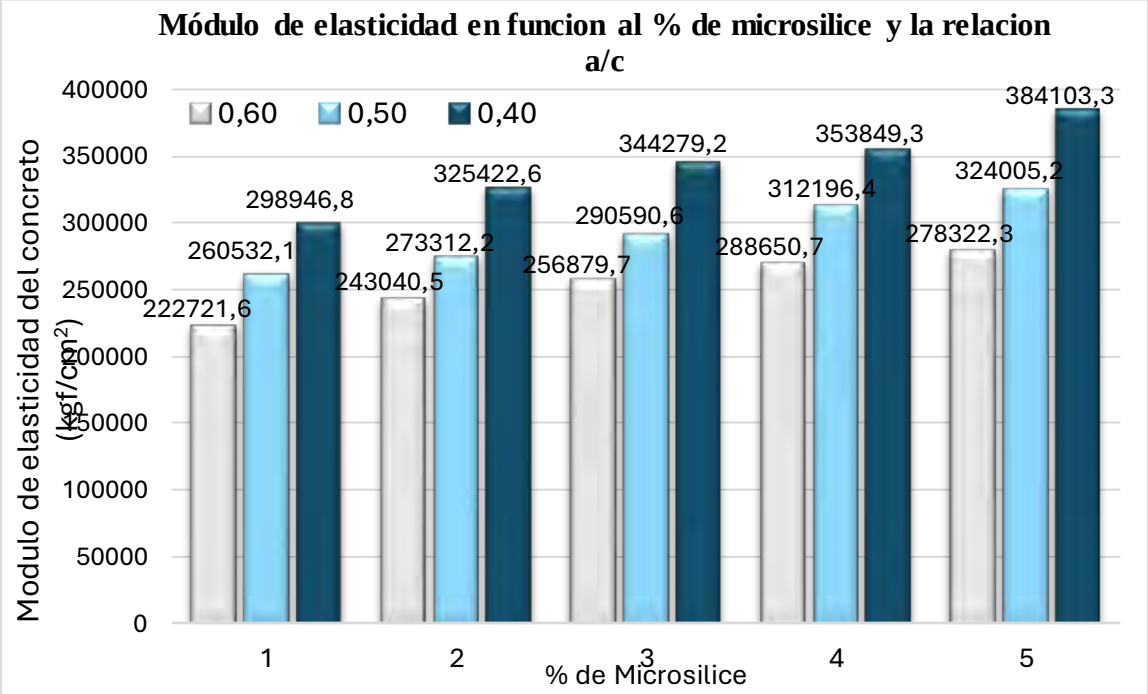
Al analizar los resultados para un mismo porcentaje de microsílice, se evidencia que los valores más elevados del módulo de elasticidad corresponden a la menor relación a/c (0,40), seguidos por a/c = 0,50 y finalmente a/c = 0,60. Este comportamiento confirma que una menor cantidad de agua en la mezcla favorece la formación de una estructura interna más compacta y resistente a la deformación.

La combinación de altos porcentajes de microsílice con relaciones a/c bajas genera el mejor desempeño mecánico del concreto en flexión. En particular, las mezclas con relación a/c = 0,40 y mayores contenidos de microsílice presentan los valores más altos del módulo de elasticidad.

Desde el punto de vista estructural, el aumento del módulo de elasticidad del concreto sometido a flexión es altamente beneficioso para pavimentos rígidos, ya que permite reducir las deformaciones elásticas, mejorar la respuesta frente a cargas repetidas y aumentar la durabilidad del sistema estructural.

Gráfico 32

Variación del módulo de elasticidad experimental del concreto sometido a flexión según el porcentaje de microsílice y la relación a/c.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

5.5. Análisis y discusión del módulo de elasticidad estático del concreto

Los resultados obtenidos del ensayo de módulo de elasticidad estático evidencian una variación significativa del comportamiento mecánico del concreto en función del porcentaje de microsílice incorporado y de la resistencia a la compresión alcanzada por cada mezcla. En general, se observa que las mezclas con adición de microsílice presentan valores de módulo de elasticidad promedio superiores en comparación con la mezcla patrón, lo que indica una mejora en la rigidez del material.

El incremento del módulo de elasticidad estático guarda una relación directa con el aumento de la resistencia a la compresión promedio, lo cual concuerda con el comportamiento esperado del concreto, dado que ambos parámetros dependen de la densificación de la matriz cementante. La presencia de microsílice favorece la reacción puzolánica con el hidróxido de calcio, generando una mayor cantidad de gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H), lo que contribuye a una estructura interna más compacta y menos porosa.

En el grafico 30 evidencia que el incremento del porcentaje de microsílice genera un aumento progresivo del módulo de elasticidad estático del concreto para todas las relaciones agua/cemento

evaluadas. Este comportamiento confirma que la microsílice contribuye a mejorar la rigidez del concreto sometido a esfuerzos de flexión.

Para un mismo porcentaje de microsílice, los valores más altos del módulo de elasticidad se obtienen con la menor relación a/c=0,40; seguidos por a/c = 0,50 y finalmente a/c = 0,60. Esto demuestra que una menor relación agua/cemento favorece una matriz más compacta y rígida.

La combinación de mayores porcentajes de microsílice con relaciones a/c bajas produce el mejor desempeño mecánico del concreto a flexión. En particular, el mayor módulo de elasticidad se registra en la mezcla con mayor contenido de microsílice y a/c = 0,40.

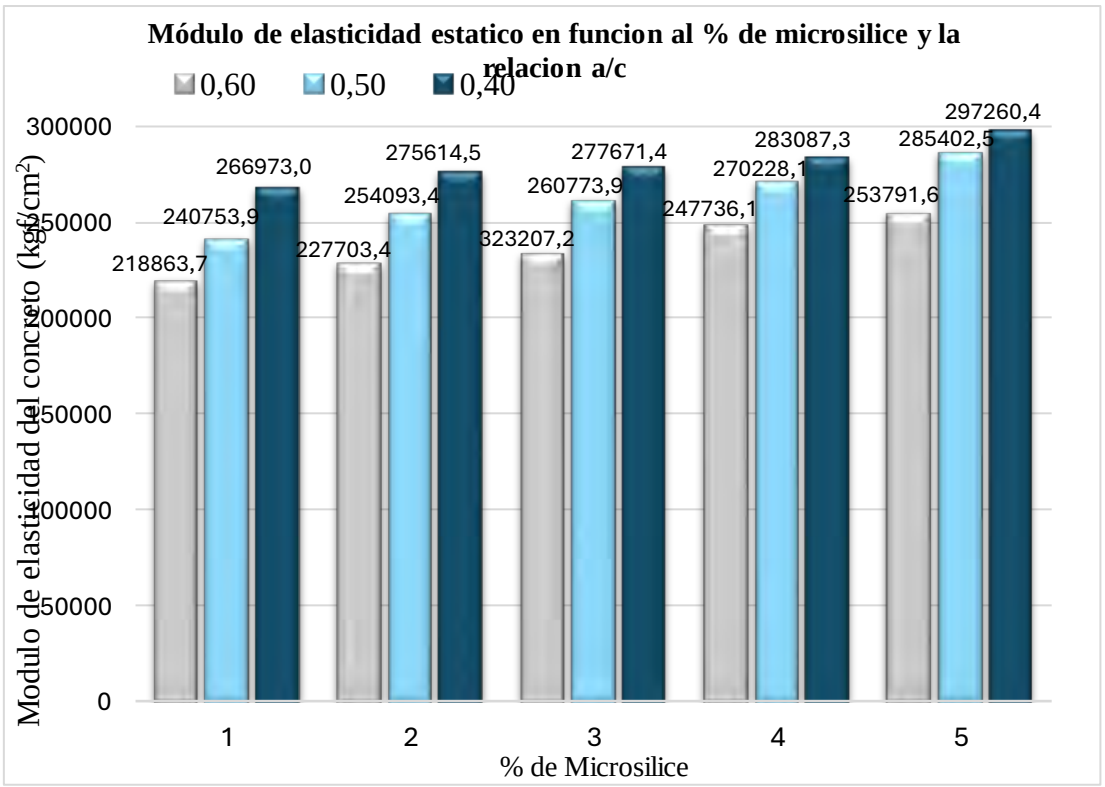
La tendencia creciente observada en todas las series indica un comportamiento consistente y estable del material, lo que sugiere una adecuada dosificación, preparación de especímenes y ejecución del ensayo.

El incremento del módulo de elasticidad estático obtenido con la adición de microsílice resulta favorable para pavimentos rígidos, ya que una mayor rigidez contribuye a una mejor distribución de cargas, menor deformación y mayor durabilidad frente a cargas repetidas.

Los resultados respaldan la hipótesis planteada, demostrando que la incorporación de microsílice mejora el módulo de elasticidad del concreto, especialmente cuando se controla adecuadamente la relación agua/cemento.

Gráfico 33

Variación del módulo de elasticidad estático del concreto en función del porcentaje de microsílice y la relación agua/cemento.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

5.6. Análisis y discusión del diseño más óptimo

Con el modelo de superficie de respuesta(RSM) ajustado en el software design expert, se realizó la optimización numérica del módulo de elasticidad(kgf/cm²) en función de los factores del estudio: A= relación a/c(0,40-0,60) y B=Microsílice (%) (0-10), el software reportó la solución con una deseabilidad global alta de 0,974 ubicada en A=0,40 y B=10%, el R1 predicho que hace referencia al módulo de elasticidad fue de 297 544 kgf/cm², siendo el valor experimental del módulo de elasticidad observado de 297 260,41 kgf/cm², cuyo valor se encuentra dentro del intervalo de predicción del software que es de 289531kgf/cm² - 305 888kgf/cm², por lo que la confirmación es consistente con la predicción del modelo.

En síntesis, los resultados estadísticos y experimentales han demostrado que el factor A=0,40 y el factor B=10% han maximizado las propiedades mecánicas del concreto y fue el diseño más óptimo dentro del rango de los factores estudiados.

5.7. Análisis y discusión sobre el diseño óptimo aplicado a pie de obra

El diseño óptimo con a/c = 0,40 y 10% de microsílice evidenció un cambio marcado en el comportamiento en estado fresco entre laboratorio y obra. En laboratorio se obtuvo un slump de 2,9 cm, propio de una mezcla de baja trabajabilidad asociada a la elevada finura de la microsílice y a la baja relación a/c; en obra, el slump aumentó a 8,7 cm, lo que indica una mezcla más plástica y operable para su colocación. Esta diferencia surgiera la aplicación de ajustes en campo, un mayor control del agua efectiva o un mayor control en la incorporación del agua a la mezcla por parte de los operarios, ya que cualquier incremento no controlado tiende a modificar la relación agua/cemento de diseño y, en consecuencia, el desempeño mecánico.

En estado endurecido, el diseño aplicado en obra mantuvo resultados cercanos a los obtenidos en laboratorio, con una reducción moderada atribuible a la variabilidad propia de campo y a la edad de ensayo. La resistencia a compresión promedio pasó de 478,98 kgf/cm² (32 días, laboratorio) a 452,67 kgf/cm² (28 días, obra), equivalente a una disminución aproximada de 5,5%; de forma consistente, el módulo de elasticidad disminuyó de 297260,41 kgf/cm² a 282 314,30 kgf/cm², equivalente a una disminución aproximada de un 5%. En conjunto, estos resultados validan que el diseño óptimo es replicable en obra y conserva un desempeño mecánico alto, siempre que se asegure una ejecución controlada (dosificación real, compactación y curado), especialmente cuando se incrementa la trabajabilidad para facilitar el proceso constructivo.

5.8. Análisis y discusión sobre costos

En el grafico 31 se analiza los precios del concreto por metro cúbico muestra la variación del costo en función del porcentaje de microsílice incorporado y de la relación agua/cemento (a/c). En

general, se observa una tendencia creciente del costo a medida que aumenta el contenido de microsílice, independientemente de la relación a/c considerada.

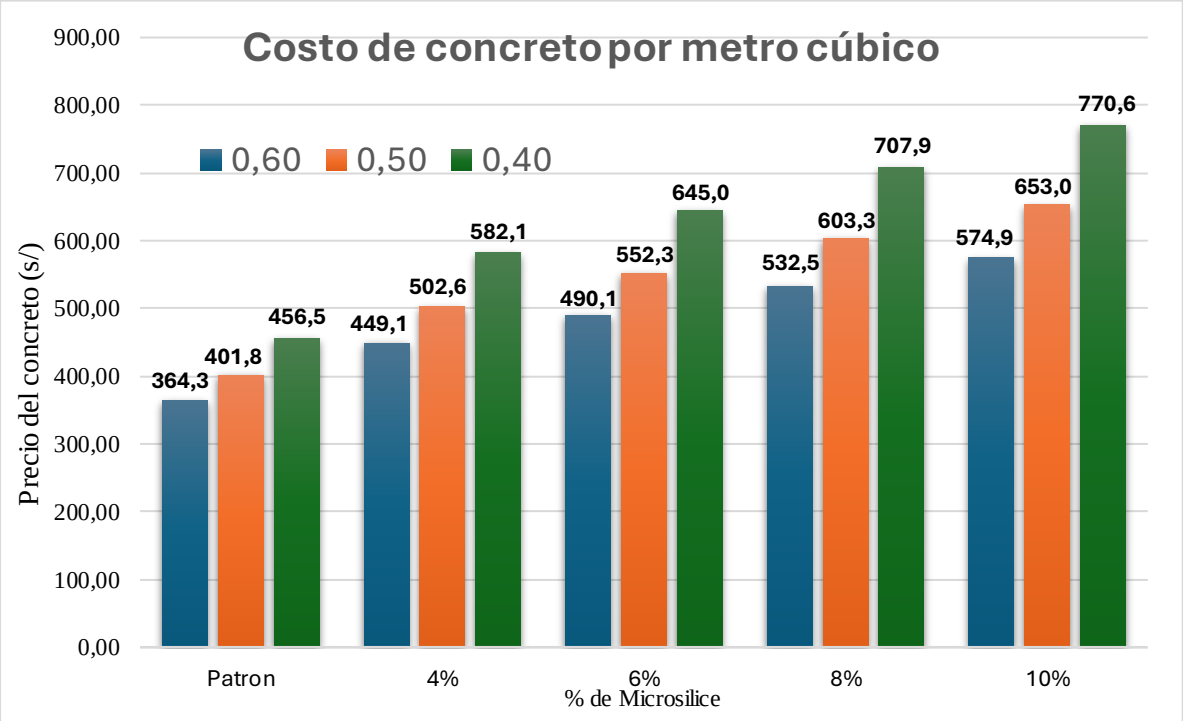
Para un mismo porcentaje de microsílice, los concretos con menor relación a/c (0,40) presentan los mayores costos, seguidos por las mezclas con a/c = 0,50 y, finalmente, por aquellas con a/c = 0,60. Este comportamiento se explica por el mayor contenido de cemento y adición mineral requerido en mezclas con relaciones a/c más bajas, lo que incrementa el consumo de materiales de mayor costo unitario.

A pesar del aumento del precio, la tendencia observada es uniforme y estable, lo que indica que el costo del concreto crece de forma proporcional y controlada con la variación de las variables estudiadas. Esta estabilidad permite realizar comparaciones económicas confiables entre las distintas dosificaciones.

El incremento del costo del concreto al incorporar microsílice representa una inversión inicial mayor, la cual se ve compensada por la mejora en el desempeño mecánico y estructural del material, resultando favorable desde el punto de vista del ciclo de vida del pavimento.

Gráfico 34

Comparación de costos según cada diseño.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

La mejora de la resistencia a compresión y del módulo de elasticidad reduce la probabilidad de intervenciones de rehabilitación, cuyo costo de referencia asciende a aproximadamente **S/ 227,15 por m²** según los costos unitarios obtenidos de una intervención ejecutada por la Municipalidad Provincial del Cusco, Como también reduciría las intervenciones por mantenimiento. Por ende, generando un beneficio económico a largo plazo.

5.9. Análisis y discusión de los resultados respecto a los antecedentes

Los resultados obtenidos coinciden con lo señalado por **Siddique (2011)**, quien concluyó que la microsílice mejora las propiedades mecánicas del concreto debido a su actividad puzolánica y elevada finura, favoreciendo la formación de gel C-S-H y reduciendo la porosidad de la matriz. En la presente investigación se observó este mismo comportamiento, ya que la resistencia a la compresión aumentó progresivamente con la incorporación de microsílice. Para a/c = 0,40, por ejemplo, la resistencia pasó de 383,14 kgf/cm² en la mezcla patrón a 478,98 kgf/cm² con 10 % de microsílice. Este resultado respalda lo indicado por el autor respecto a que contenidos entre 5 % y 10 % pueden generar mejoras importantes en el comportamiento mecánico del concreto.

Asimismo, los resultados presentan concordancia con **Tak et al. (2023)**, quienes encontraron mejoras en las propiedades mecánicas al incorporar microsílice, alcanzando su mejor desempeño con 11 %. En la presente investigación, la resistencia también aumentó conforme se incrementó el porcentaje de microsílice, alcanzando el mayor valor de 478,98 kgf/cm² con 10 % y una relación a/c = 0,40. La diferencia en el porcentaje de mayor desempeño puede estar relacionada con las características de los materiales, la relación agua/cemento y el diseño de mezcla utilizado en cada investigación. Por tanto, ambos estudios evidencian que la microsílice contribuye favorablemente al desarrollo de la resistencia del concreto, aunque el porcentaje óptimo puede variar según las condiciones de cada mezcla.

En comparación con **Huatay Aliaga (2014)**, existe coincidencia en que la microsílice mejora la resistencia a la compresión; sin embargo, se presentan diferencias respecto al porcentaje óptimo. Dicho autor obtuvo su mayor resistencia, de 309 kgf/cm², con 5 % de microsílice, mientras que en la presente investigación el incremento de resistencia continuó hasta alcanzar 10 %, obteniéndose 478,98 kgf/cm² con a/c = 0,40. Esta diferencia puede atribuirse principalmente a las características de los agregados, cemento y microsílice, así como a las proporciones de la mezcla y la relación agua/cemento. En consecuencia, los resultados confirman que el porcentaje óptimo de microsílice debe determinarse experimentalmente de acuerdo con las características particulares de cada diseño de concreto.

Finalmente, los resultados guardan relación con **Peralta Panta (2023)**, quien determinó que el 8 % de microsílice produjo mejoras significativas en las propiedades mecánicas del concreto, especialmente en la resistencia a la flexión. En la presente investigación también se observaron incrementos importantes con 8 %, alcanzándose para a/c = 0,40 una resistencia a la compresión de 449,09 kgf/cm², superior a los 383,14 kgf/cm² obtenidos en la mezcla patrón. No obstante, el mayor valor registrado en este estudio correspondió al 10 %, con 478,98 kgf/cm². Esta diferencia puede explicarse porque las investigaciones evaluaron propiedades mecánicas diferentes y utilizaron condiciones particulares de diseño. En ambos casos, se confirma que la incorporación de microsílice mejora el comportamiento mecánico del concreto debido a la acción puzolánica y al refinamiento de su estructura interna.

5.10. Análisis y discusión de las resistencias previstas y obtenidas experimentalmente

Los resultados obtenidos muestran que las resistencias a la compresión alcanzadas experimentalmente fueron superiores a las resistencias previstas para las tres relaciones agua/cemento evaluadas. Para la relación a/c = 0.60, se consideró una resistencia de 194.29 kg/cm² y se obtuvo experimentalmente 194.84 kg/cm², presentando una diferencia mínima de aproximadamente 0.28 %. Para la relación a/c = 0.50, la resistencia prevista fue de 251.71 kg/cm², mientras que experimentalmente se alcanzó 284.38 kg/cm², equivalente a un incremento aproximado de 12.96 %. Finalmente, para la relación a/c = 0.40, se esperaba una resistencia de 346.00 kg/cm² y se obtuvo 383.14 kg/cm², representando un incremento aproximado de 10.73 %.

Estos resultados evidencian que los diseños de mezcla empleados permitieron alcanzar satisfactoriamente las resistencias previstas, observándose además la influencia de la relación agua/cemento sobre el comportamiento mecánico del concreto. A medida que disminuyó la relación a/c de 0.60 a 0.40, se produjo un incremento considerable de la resistencia a la compresión, debido principalmente a la formación de una matriz cementante más compacta y con menor porosidad.

Por lo tanto, los resultados experimentales permiten comprobar que las dosificaciones planteadas fueron adecuadas, debido a que en ninguno de los tres casos la resistencia obtenida fue inferior a la resistencia prevista. Asimismo, la proximidad entre los valores previstos y experimentales, especialmente para la relación a/c = 0.60, y los incrementos observados para las relaciones a/c = 0.50 y 0.40 respaldan el comportamiento esperado de los concretos patrones utilizados posteriormente como referencia para evaluar el efecto de la incorporación de microsílice.

Tabla 65

Resistencias previstas y obtenidas experimentalmente.

a/c	f'c (kg/cm2)	f'c (kg/cm2) según los ensayos
0,60	194,29	194,84
0,50	251,71	284,38
0,40	346	383,14

Nota: Fuente: Elaboración propia.

5.11. Análisis y discusión sobre el módulo de elasticidad estático y Módulo de elasticidad determinado según la NTP E0.60

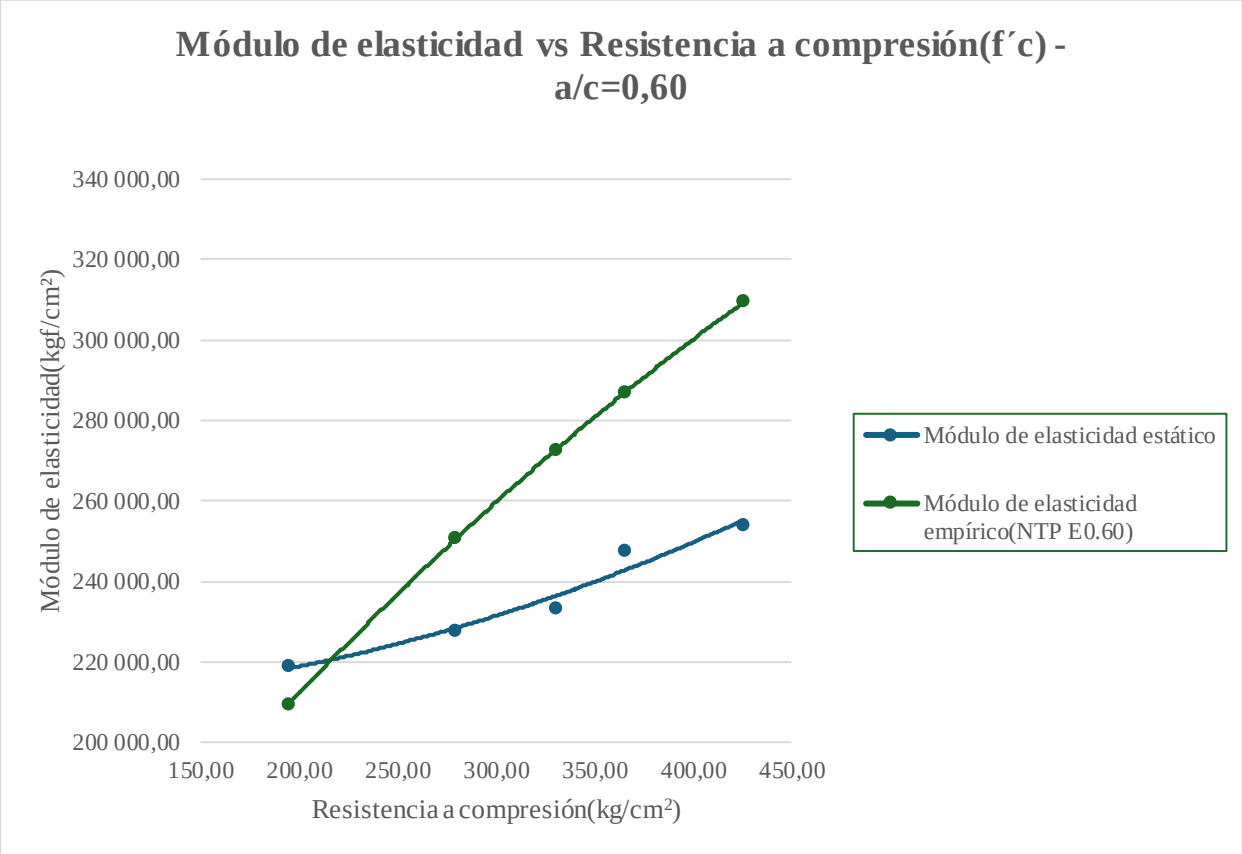
En el Gráfico 35 se observa que, para la relación a/c de 0,60, el módulo de elasticidad estático aumenta de 218 863,75 a 253 791,64 kgf/cm² al incrementarse la microsílice de 0 % a 10 %. Sin embargo, este crecimiento es menor que el presentado por el módulo de elasticidad determinado según

la Norma Técnica E.060. El concreto patrón registró un valor experimental 4,53 % superior al normativo, mientras que las mezclas con 4 %, 6 %, 8 % y 10 % de microsílice presentaron valores experimentales inferiores en 9,21 %, 14,48 %, 13,64 % y 18,00 %, respectivamente.

Estos resultados indican que el incremento de la resistencia a compresión por efecto de la microsílice no se refleja en la misma proporción en el módulo de elasticidad estático. Esto se evidencia al comparar el aumento de 118,50 % de la resistencia a compresión con el incremento de solo 15,96 % del módulo de elasticidad experimental. La diferencia se atribuye a que el comportamiento elástico del concreto no depende únicamente de su resistencia, sino también de las características de los agregados, la matriz cementante y la zona de transición interfacial; por ello, el ensayo de módulo de elasticidad estático representa de manera directa la rigidez de los concretos estudiados.

Gráfico 35

Comparación del módulo de elasticidad estático y Módulo de elasticidad determinado según la NTP E0.60 para una relación a/c=0,60.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

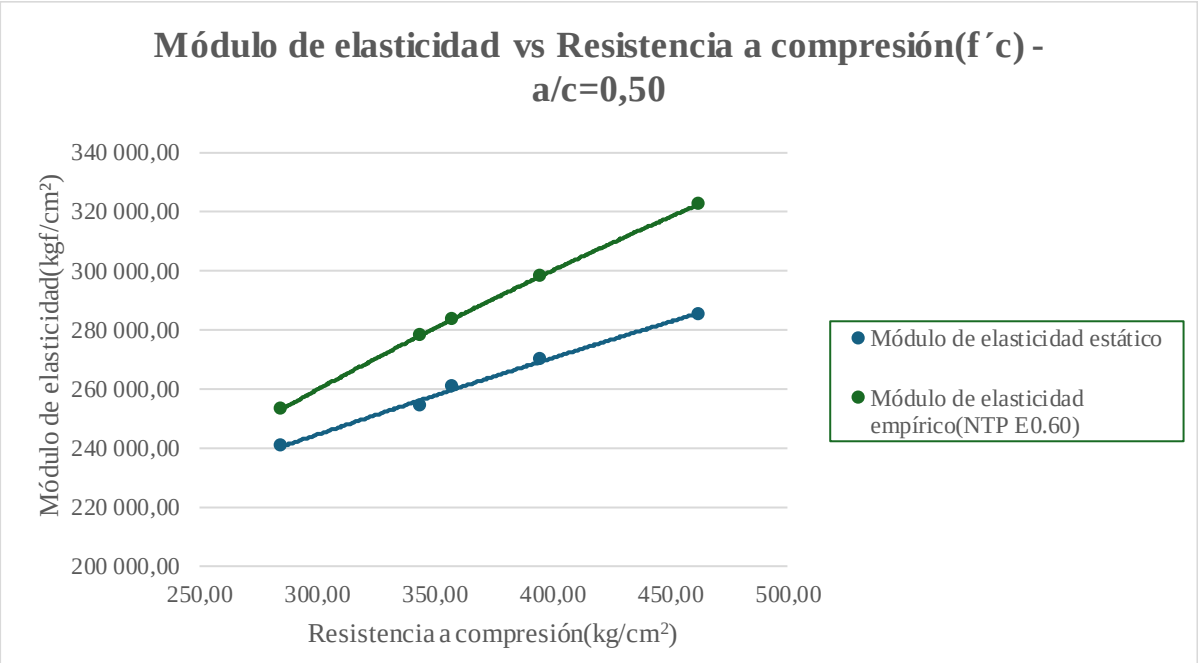
En el Gráfico 36 correspondiente a la relación a/c de 0,50 se observa que el módulo de elasticidad estático aumenta de 240 753,91 a 285 402,53 kgf/cm² al incrementarse la microsílice de 0 % a 10 %. Sin embargo, este crecimiento es menor que el presentado por el módulo de elasticidad determinado según la Norma Técnica E.060. El concreto patrón registró un valor experimental 4,82 %

inferior al normativo, mientras que las mezclas con 4 %, 6 %, 8 % y 10 % de microsílice presentaron valores inferiores en 8,70 %, 8,04 %, 9,38 % y 11,51 %, respectivamente.

Las curvas presentan mayor proximidad en el concreto patrón debido a la ausencia de microsílice; posteriormente, muestran una tendencia general a separarse conforme aumenta su incorporación. Esto se debe a que la microsílice produce un incremento más pronunciado de la resistencia a compresión que el módulo de elasticidad estático. Por ello, el módulo determinado según la E.060, al calcularse en función de la resistencia a compresión, aumenta en mayor proporción que el valor obtenido experimentalmente.

Gráfico 36

Comparación del módulo de elasticidad estático y empírico en función de la resistencia a compresión para una relación a/c=0,50.



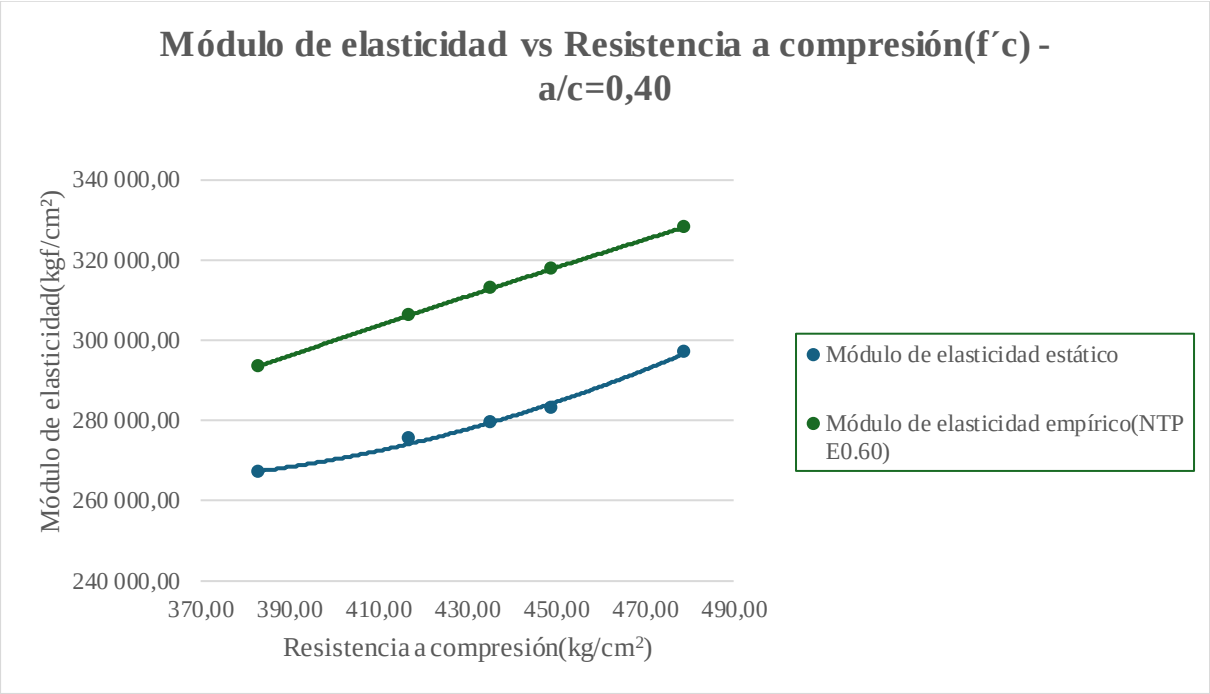
Nota: Fuente: Elaboración propia.

En la Gráfico 37 se observa que, para la relación a/c de 0,40, el módulo de elasticidad estático aumenta de 266 973,02 a 297 260,41 kgf/cm² al incrementarse la microsílice de 0 % a 10 %. No obstante, sus valores permanecen por debajo de los determinados según la Norma Técnica E.060. Las diferencias registradas para 0 %, 4 %, 6 %, 8 % y 10 % de microsílice fueron de 9,07 %, 10,02 %, 10,73 %, 10,94 % y 9,45 %, respectivamente.

En este caso, las curvas mantienen una separación relativamente uniforme, debido a que ambas presentan una tendencia de crecimiento semejante con la incorporación de microsílice. La baja relación a/c favorece una matriz cementante más densa, mientras que la microsílice contribuye al refinamiento de los poros y al mejoramiento de la zona de transición interfacial. Como resultado, entre 0 % y 10 % de microsílice, el módulo de elasticidad estático aumentó 11,34 % y el determinado según la E.060, 11,81 %, evidenciándose un comportamiento proporcional entre ambos valores.

Gráfico 37

Comparación del módulo de elasticidad estático y empírico en función de la resistencia a compresión para una relación a/c=0,40.



Nota: Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

OG: La relación agua/cemento y el contenido de microsílice influyen de forma significativa en el módulo de elasticidad del concreto. En los resultados se observa una tendencia consistente: el módulo de elasticidad aumenta cuando disminuye la relación a/c y, adicionalmente, se incrementa conforme se eleva el porcentaje de microsílice en la mezcla. Como parte de la experimentación realizada se obtuvo de la relación a/c=0,60 con 0% de microsílice el valor de 218863,75 kgf/cm² para el módulo de elasticidad y con una incorporación del 10% de microsílice se obtuvo un valor máximo de 253791,64 kgf/cm², en el que se ve un incremento en un 15,96%, así mismo la relación a/c=0,50 con 0% de microsílice obtuvo el valor es de 240753,91 kgf/cm² para el módulo de elasticidad y con 10% de microsílice alcanzó su valor máximo de 285402,53 kgf/cm², con el que mostró un incremento en un 18,55%, Finalmente la relación a/c=0,40 con 0% de microsílice obtuvo un valor de 266973,02 kgf/cm² para el módulo de elasticidad y con un 10% de microsílice alcanzó el valor máximo de 297260,41 kgf/cm², observándose un incremento de un 11,35%. De esta manera evidenciando la influencia de la microsílice en la obtención de concretos con módulos de elasticidad más altos y por consecuencia concretos con mejores propiedades mecánicas.

OE1: El módulo de elasticidad del concreto presentó un incremento progresivo a medida que se aumentó el porcentaje de microsílice, evidenciándose el efecto más marcado en el nivel de reemplazo del 10%. El mejor desempeño experimental se obtuvo con la relación a/c = 0,40 y 10% de microsílice, alcanzando el valor máximo de 297 260,41 kgf/cm² para el módulo de elasticidad, constituyéndose como la combinación más favorable para maximizar el módulo de elasticidad.

OE2: Se estableció que la relación a/c tiene un efecto determinante sobre el módulo de elasticidad: las mezclas con a/c = 0,40 presentaron los valores más altos, seguidas por a/c = 0,50, mientras que a/c = 0,60 registró los valores más bajos. Esto demuestra que una menor relación agua/cemento favorece un concreto más rígido, coherente con una matriz más compacta y con menor porosidad.

OE3: Mediante la metodología de superficie de respuesta (RSM) se identificó como combinación óptima para maximizar el módulo de elasticidad a la relación a/c = 0,40 y microsílice = 10%, con un valor predicho fue de E=297 544 kgf/cm². La validación experimental en ese punto mostró alta concordancia, ya que el promedio observado del diseño equivalente a 297 260,41 kgf/cm² resultó muy próximo al valor estimado por el modelo, confirmando el cumplimiento del objetivo de optimización.

6.2. Recomendaciones

Considerando que la trabajabilidad del concreto disminuye conforme aumenta el porcentaje de microsílice incorporado a la mezcla, se recomienda establecer previamente un rango objetivo de consistencia, determinado mediante el ensayo de asentamiento (slump), y efectuar los ajustes necesarios sin incrementar el contenido de agua de mezclado, con el propósito de mantener inalterable la relación agua/cemento de diseño. Para ello, resulta conveniente emplear aditivos reductores de agua, como plastificantes o superplastificantes, los cuales permiten recuperar la trabajabilidad requerida sin afectar las propiedades mecánicas del concreto.

Se recomienda realizar la dosificación de las mezclas considerando el contenido de agua efectiva disponible, para lo cual debe corregirse el contenido de cemento en función del agua absorbida por los agregados y del aporte de humedad superficial que estos presenten al momento de la elaboración del concreto. Este procedimiento permitirá conservar la relación agua/cemento establecida en el diseño de mezcla y obtener resultados experimentales más confiables y representativos.

Asimismo, se recomienda determinar el contenido de humedad de los agregados antes de la preparación de cada mezcla, debido a que esta condición puede variar según las condiciones ambientales y de almacenamiento. Con esta información será posible ajustar adecuadamente la cantidad de agua de mezclado y mantener constante la relación agua/cemento real, reduciendo posibles variaciones en las propiedades mecánicas del concreto.

Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar de manera detallada la influencia de la microsílice sobre los tiempos de fraguado del concreto, tanto inicial como final, debido a que durante el desarrollo experimental se observó una reducción del tiempo de fraguado conforme aumentó el porcentaje de esta adición mineral. El estudio de este comportamiento permitirá comprender con mayor precisión los efectos de la microsílice sobre el concreto en estado fresco y establecer recomendaciones para su aplicación en obra.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda emplear cemento Portland Tipo I cuando el objetivo sea evaluar la influencia de la microsílice sobre las propiedades mecánicas del concreto. En comparación con el cemento Yura HS, el cemento Tipo I permitió evidenciar incrementos más representativos en la resistencia y en el módulo de elasticidad bajo las mismas condiciones experimentales, mostrando una mejor respuesta frente a la incorporación de esta adición mineral.

Finalmente, se recomienda ampliar las investigaciones relacionadas con el empleo de microsílice mediante la evaluación de otros porcentajes de sustitución del cemento y diferentes relaciones agua/cemento, así como analizar su comportamiento en otras propiedades del concreto, tales como la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia a diferentes edades de curado. Esto permitirá complementar la información existente y contribuir al desarrollo de mezclas de concreto con un mejor desempeño para pavimentos rígidos.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la investigación, se recomienda como una alternativa técnica para la elaboración de pavimentos rígidos la combinación de una relación agua/cemento (a/c) de 0.60 con una incorporación de 6 % de microsílice. Esta dosificación permite alcanzar un equilibrio entre el desempeño mecánico, la trabajabilidad y el costo de producción del concreto, sin que sea necesario emplear la combinación que presenta los valores máximos de resistencia y módulo de elasticidad.

La utilización de una relación a/c = 0.60 permite trabajar con un menor contenido de cemento en comparación con relaciones a/c más bajas, lo cual puede representar una reducción en el costo de producción. Asimismo, esta relación proporciona una mayor disponibilidad de agua y favorece la trabajabilidad de la mezcla. A pesar de la incorporación del 6 % de microsílice, el concreto presentó un asentamiento aproximado de 3.3 pulgadas, permitiendo condiciones adecuadas para su mezclado, colocación y compactación.

Por su parte, la incorporación de 6 % de microsílice permite aprovechar sus propiedades puzolánicas y su efecto de relleno de partículas, contribuyendo al mejoramiento de la matriz cementante y de las propiedades mecánicas del concreto. Los resultados experimentales respaldan este comportamiento, ya que para la combinación a/c = 0.60 y 6 % de microsílice se obtuvo una resistencia a la compresión promedio de 330.47 kg/cm² y un módulo de elasticidad estático de 233,910.13 kg/cm², valores superiores a los obtenidos en el concreto patrón con la misma relación a/c.

Por lo tanto, la combinación de a/c = 0.60 y 6 % de microsílice puede considerarse una alternativa favorable para pavimentos rígidos cuando se busca equilibrar resistencia, rigidez, trabajabilidad y economía, debido a que permite reducir la demanda de cemento respecto a mezclas con relaciones a/c menores, mantener una consistencia adecuada y obtener mejoras en las propiedades mecánicas mediante una incorporación moderada de microsílice. De esta manera, su selección se sustenta en un criterio de beneficio técnico-económico, y no únicamente en la obtención de los máximos valores de resistencia o módulo de elasticidad.

Bibliografía

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. McGraw-Hill Education.

Neville, A. M. (2011). Properties of concrete (5th ed.). Pearson Education.

Beer, F. P., Johnston, E. R., DeWolf, J. T., & Mazurek, D. (2015). Mechanics of materials (7th ed.). McGraw-Hill Education.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, properties, and materials. McGraw-Hill Education.

American Concrete Institute. (2000). Silica fume in concrete (ACI SP-132). ACI.

American Concrete Institute. (2002). Design of concrete pavements (ACI 325.12R). ACI.

ASTM International. (2022). ASTM C469: Standard test method for static modulus of elasticity and Poisson's ratio of concrete in compression. ASTM International.

Bureau International des Poids et Mesures. (2019). The International System of Units (SI Brochure) (9th ed.). https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure

Fédération Internationale du Béton. (2008). Structural concrete: fib Bulletin 42. fib.

Instituto Nacional de Calidad. (2015). NTP 400.043: Agregados. Método para la reducción de muestras a tamaños de ensayo. INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2018). NTP 339.183: Concreto. Práctica para la preparación y curado de especímenes de concreto en obra y laboratorio. INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2020). NTP 400.010: Agregados. Método de extracción y preparación de muestras. INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2020). NTP 400.017: Agregados. Determinación del peso unitario y porcentaje de vacíos. INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2020). NTP 400.018: Agregados. Determinación del material que pasa el tamiz N.° 200 por lavado. INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2021). NTP 339.034: Concreto. Método de ensayo para la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos. INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2021). NTP 339.185: Agregados. Determinación del contenido de humedad. INACAL.

Instituto Nacional de Calidad. (2022). NTP 339.078: Concreto. Método de ensayo para la resistencia a la flexión del concreto (vigas). INACAL.

Guleria, A., & Salhotra, R. (2016). Effect of silica fume on flexural strength of concrete. International Journal of Engineering Research and Applications, 6(5), 45–50.

Huatay Aliaga, J. (2014). Influencia de la microsílice en la resistencia a la compresión del concreto con cemento Portland tipo I (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Cajamarca.

Anexos

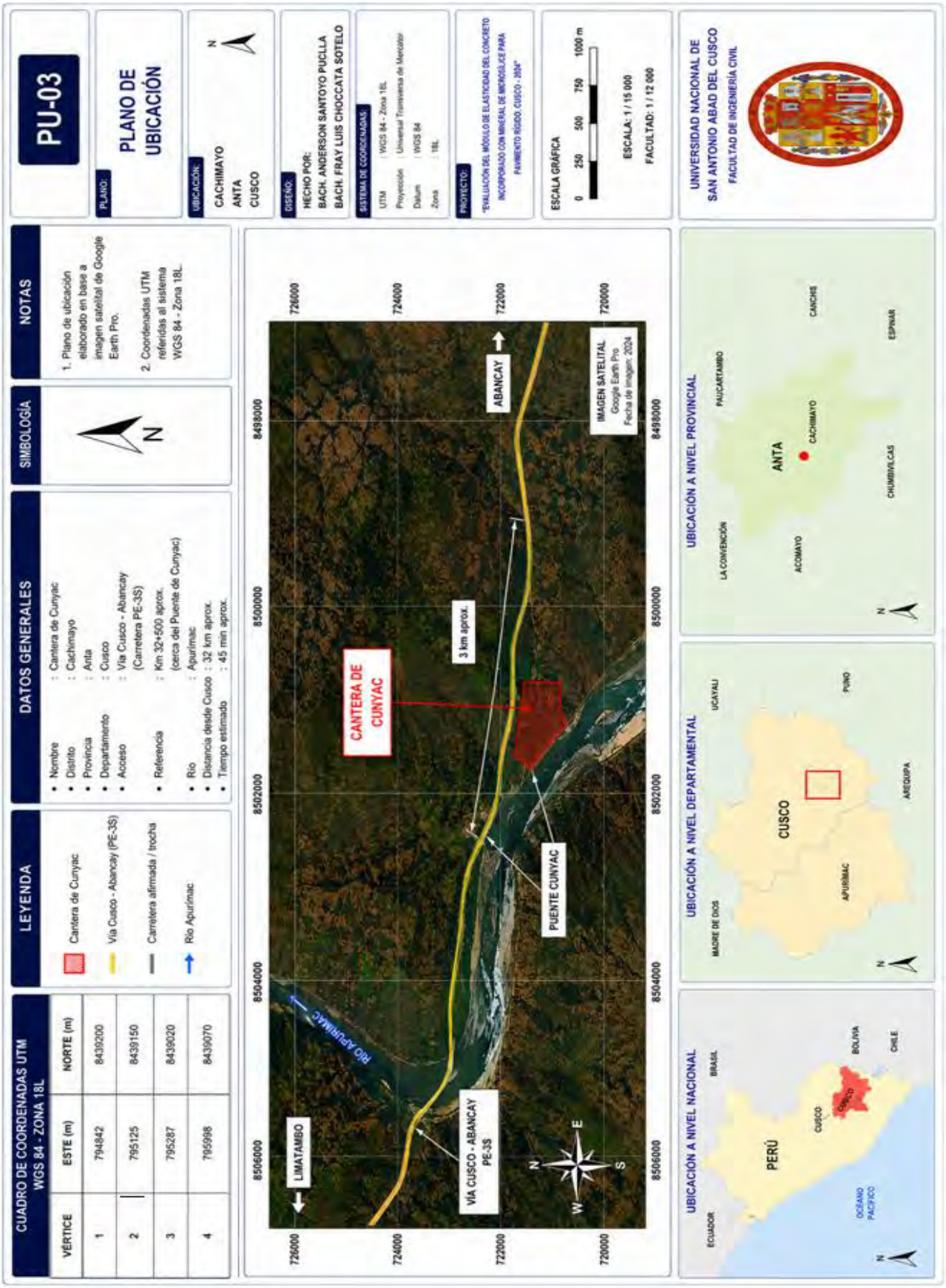
Anexo 1. *Codificación y año de las normativas utilizadas.*

Norma	Codificación	Año
Requisitos del Reglamento para Concreto Estructural	ACI 318	2019
Concreto Armado. Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.	Norma E.060	2020
Cementos Portland. Requisitos.	NTP 334.009	2023
Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y concretos.	NTP 400.011	2020
Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento hidráulico.	NTP 339.088	2019
Aditivos químicos para concreto	NTP 334.088	2021
Microsílice utilizado en mezclas cementosas	NTP 334.087	2018
Método de ensayo estándar para determinar el módulo de elasticidad estático	ASTM C469	2022
Determinación de la resistencia a la compresión del concreto en muestras cilíndricas.	NTP 339.034	2021
Determinación de la resistencia a la flexión del concreto en vigas simplemente apoyadas con cargas a los tercios de la distancia.	NTP 339.078	2022
Método extracción y preparación de las muestras	NTP 400.010	2020
Método para reducción de muestras de agregados a tamaños de ensayos	NTP 400.043	2015
Análisis granulométrico del agregado grueso y fino.	NTP 400.012	2021
Determinación del peso específico y absorción del agregado grueso.	NTP 400.021	2020
Determinación del peso unitario y los vacíos del agregado grueso y fino.	NTP 400.017	2020
Determinación de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 por el método de lavado.	NTP 400.018	2020
Resistencia al desgaste del agregado grueso, por abrasión e impacto, por medio de la máquina de Los Ángeles.	NTP 400.019	2021
Determinación del contenido de humedad del agregado grueso y fino	NTP 339.185	2021
Determinación del peso específico y absorción del agregado fino.	NTP 400.022	2021
Guía para la selección de proporciones de concreto de densidad normal y alta densidad.	ACI 211.1	2022
Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio	NTP 339.183	2018
Medición del asentamiento del concreto de cemento hidráulico	NTP 339.035	2022

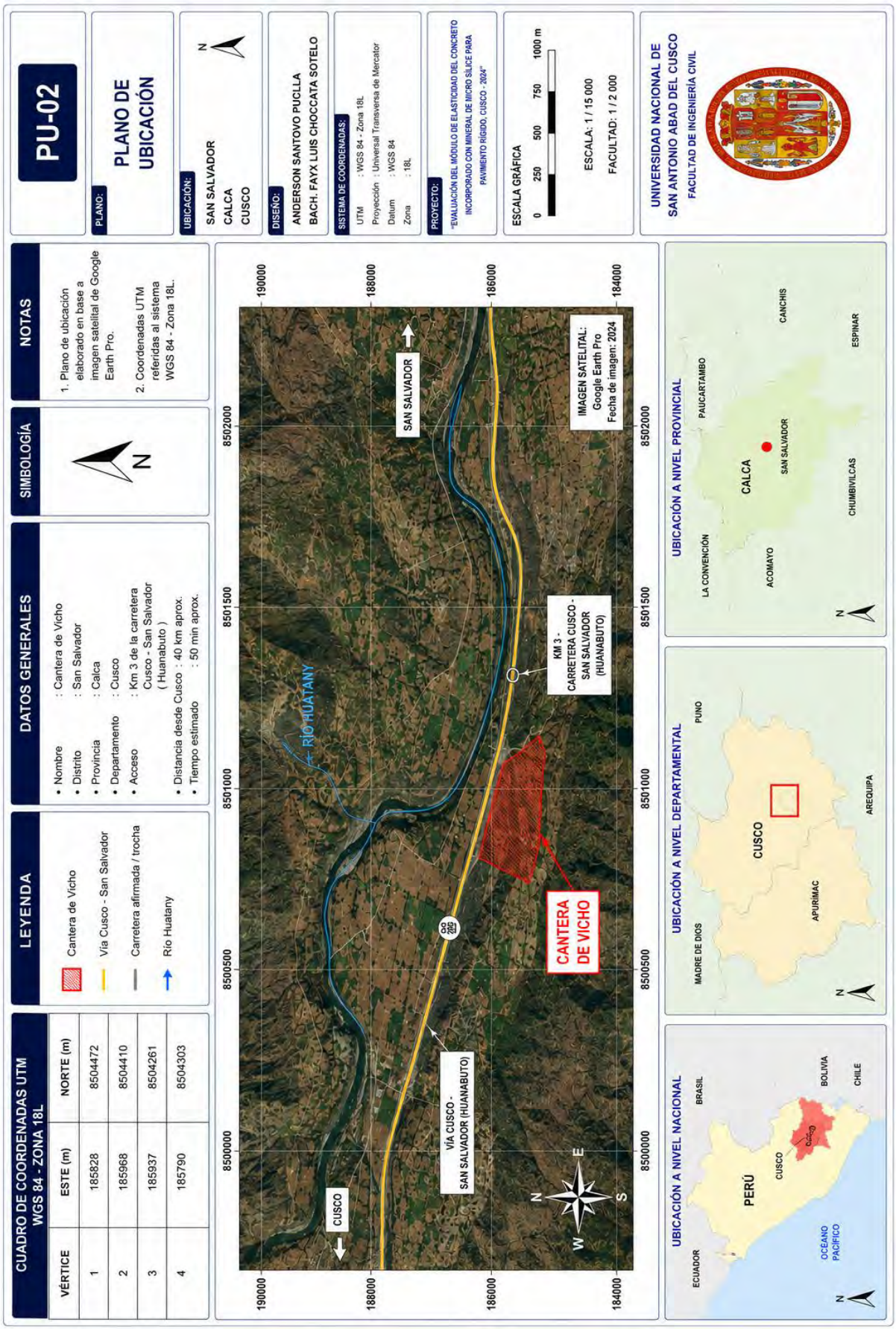
Nota: Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. *Planos de ubicación.*

Plano 1. *Plano de ubicación de la cantera de Cunyac.*



Plano 2. *Plano de ubicación de la cantera de Vicho.*



Plano 3. *Plano de ubicación de la obra donde se hizo la prueba en campo.*



Anexo 3. *Procesamiento de datos de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 del agregado grueso.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO-2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado grueso

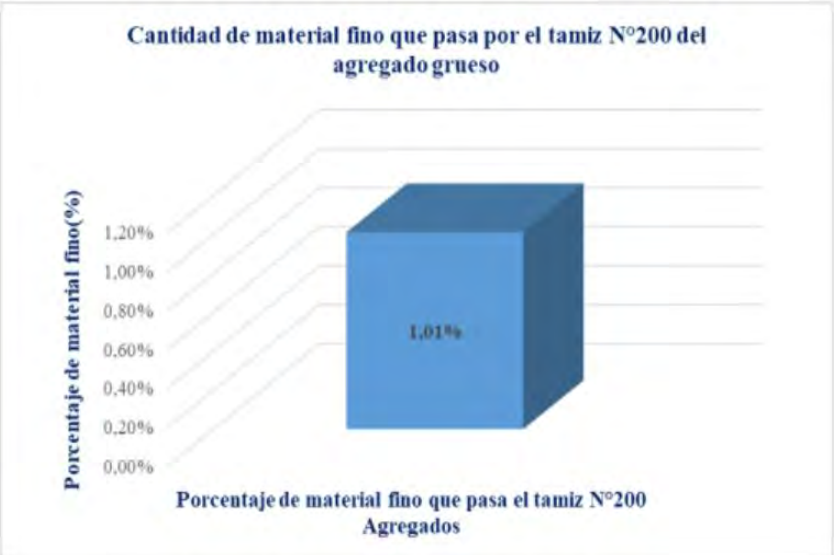
Cantera
Agregado Grueso: Vicho

CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200 DEL AGREGADO GRUESO

Datos del lavado del material
Antes del lavado
Peso de la muestra seca(g)= 3003,25
Después del lavado
Peso de la muestra seca(g)= 2972,91
Peso del Residuo filtrado seco(g)= 30,34

Material más fino que el tamiz n°200	
Material que pasa el tamiz N°200(g)	30,34
Porcentaje de material que pasa el tamiz N°200(%)	1,01%

Fracciones gruesa y fina de la muestra
Fracción Fina (Pasa el Tamiz N°200) = 1,01%
Fracción Gruesa (Pasa el Tamiz N°200) = 98,99%
Total= 100,00%



Material fino que pasa el tamiz N°200 = 1,01%

Anexo 4. *Procesamiento de datos del análisis granulométrico del agregado grueso.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO-2024"

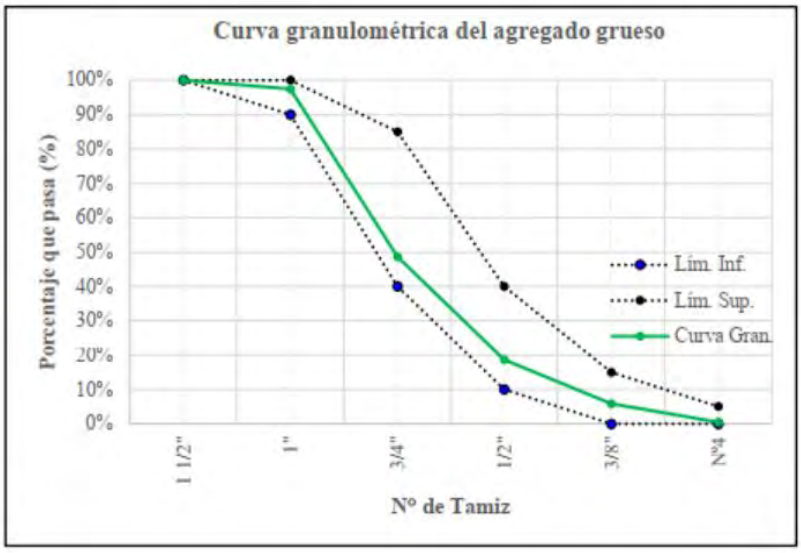
Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado grueso

Cantera
Agregado Grueso: Vicho

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

TAMIZ		AGREGADO GRUESO				ESP. NTP 400.037	
Abertura de Tamiz		Peso	Porcentaje Parc. Ret.	% acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
Pulgadas	mm	Retenido		Retenido	Pasante	%	%
1 1/2"	37,50	0,00	0,00		100	100	100
1"	25,00	130,08	2,60	2,60	97,40	90	100
3/4"	19,00	2437,32	48,76	51,36	48,64	40	85
1/2"	12,50	1500,37	30,01	81,37	18,63	10	40
3/8"	9,50	637,77	12,76	94,13	5,87	0	15
N°4	4,75	269,81	5,40	99,53	0,47	0	5
Fondo <N°200		23,45	0,47	100,00	0,00		
Peso Total		4998,80		Verificación:		SI CUMPLE	
PESO TOTAL DE LA MUESTRA(g)				5000			

Tamaño máximo	1 1/2"
tamaño máximo nominal	3/4"
Uso (NTP 400.037)	56



Anexo 5. *Procesamiento de dato del contenido de humedad del agregado fino.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

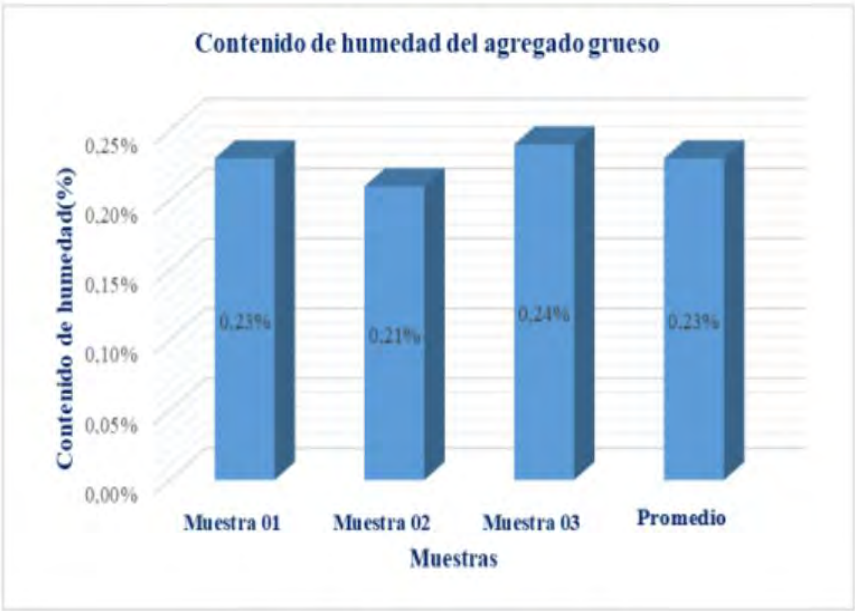
Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado grueso

Cantera
Agregado Grueso: Vicho

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Masa de Cápsula(g)	192,37	198,23	178,87
Masa de Cápsula + Muestra húmeda(g)	3 192,37	3 198,23	3 178,78
Masa de Cápsula +Muestra Seca(g)	3 185,39	3 191,80	3 171,72
Masa del Agua(g)	6,98	6,43	7,15
Masa de la Muestra Seca(g)	2 993,02	2 993,57	2 992,85
Contenido de humedad (%)	0,23%	0,21%	0,24%
Contenido de humedad promedio (%)		0,23%	



Contenido de humedad natural = 0,23%

Anexo 6.*Procesamiento de datos del peso específico del agregado grueso.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado grueso

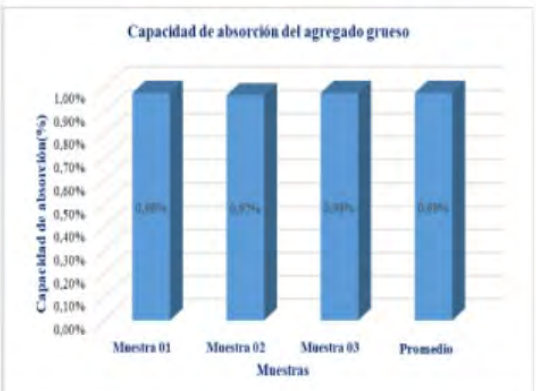
Cantera
Agregado Grueso: Vicho

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)	5 106,53	5 098,12	5 049,10
Peso en el agua de la muestra sumergida (g)	3 193,50	3 183,23	3 183,85
Peso de la muestra seca (g)	5 056,90	5 049,13	5 046,86
Peso específico de masa (g/cm³)	2,64	2,64	2,64
Promedio de peso específico de masa (g/cm³)		**2,64**	
Peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm³)	2,67	2,66	2,66
Promedio de peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm³)		**2,67**	
Peso específico aparente(g/cm³)	2,71	2,71	2,71
Promedio de peso específico aparente (g/cm³)		**2,71**	
Absorción del agregado (%)	0,98%	0,97%	0,98%
Promedio de absorción del agregado (%)		**0,98%**	

% de error		
Peso específico	0,25%	**Ok**
Capacidad de absorción	1,14%	**Ok**





Peso específico = 2,64 g/cm³
Capacidad de absorción = 0,98%

Anexo 7. *Procesamiento de datos del peso unitario y porcentajes de vacíos del agregado grueso.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado grueso

Cantera
Agregado Grueso: Vicho

PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Identificación del molde	1	1	1
Peso del molde (g)	7 910,00	7 910,00	7 910,00
Peso del molde + la muestra suelta (g)	12 355,00	12 280,00	12 255,00
Peso de la muestra suelta (g)	4 445,00	4 370,00	4 386,67
Altura del molde (cm)	16,50	16,50	16,50
Diámetro del molde (cm)	15,10	15,10	15,10
Volumen del molde (cm^3)	2 954,80	2 954,80	2 954,80
Peso específico (kg/m^3)	2 713,80	2 706,00	2 708,98
Peso unitario suelto (kg/m^3)	1 504,33	1 478,95	1 470,49
Peso unitario suelto promedio (kg/m^3)		1 484,59	
Porcentaje de vacíos (%)	44,49%	45,27%	45,64%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		45,13%	

% de error		
Peso unitario suelto	2,28%	**Ok**
Porcentaje de vacíos	2,55%	**Ok**





Peso unitario suelto = 1484,59 kg/m^3

Porcentaje de vacíos = 45,13%

Anexo 8. *Procesamiento de datos del peso unitario varillado y porcentaje de vacíos del agregado grueso.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado grueso

Cantera
Agregado Grueso: Vicho

PESO UNITARIO VARILLADO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO GRUESO

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Identificación del molde	**1**	**1**	**1**
Peso del molde (g)	7 910,00	7 910,00	7 910,00
Peso del molde + la muestra varillada (g)	12 680,00	12 660,00	12 715,00
Peso de la muestra varillada (g)	4 770,00	4 750,00	4 805,00
Altura del molde (cm)	16,50	16,50	16,50
Diámetro del molde (cm)	15,10	15,10	15,10
Volumen del molde (cm^3)	2 954,80	2 954,80	2 954,80
Peso específico (kg/m^3)	2 713,80	2 706,00	2 708,98
Peso unitario varillado (kg/m^3)	1 614,32	1 607,56	1 626,17
Peso unitario varillado promedio (kg/m^3)		1 616,02	
Porcentaje de vacíos (%)	40,43%	40,51%	39,88%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		40,27%	

% de error		
Peso unitario varillado	1,15%	**Ok**
Porcentaje de vacíos	1,56%	**Ok**





Peso unitario varillado = 1616,02 kg/m^3

Porcentaje de vacíos = 40,27%

Anexo 9. Procesamiento de datos de la cantidad de material fino que pasa por el tamiz N° 200 del agregado fino.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

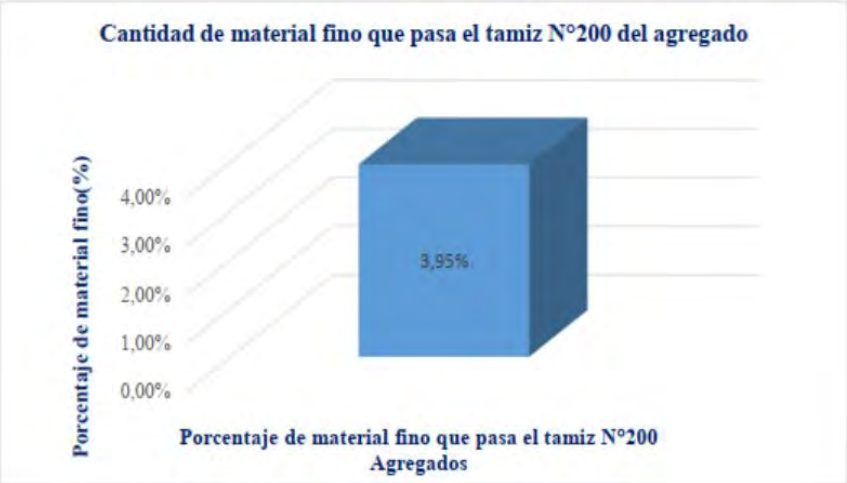
Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino — Cantera
Muestra: Agregado grueso — Agregado Grueso: Vicho

CANTIDAD DE MATERIAL FINO QUE PASA EL TAMIZ N°200 DEL AGREGADO FINO

Datos	
Antes del lavado del material	
Masa de la muestra seca(g)	1 000,00
Después del lavado del material	
Masa de la muestra seca(g)	961,94
Masa del residuo filtrado seco(g)	38,06
Material más fino que del tamiz 75µm(N°200)	
Material que pasa el tamiz 75µm(N°200) (g)	39,53
Porcentaje de material fino que pasa el tamiz N°200(%)	3,95%

Fracciones gruesa y fina de la muestra
Fracción Fina (Pasa el Tamiz N°200) = 3,95%
Fracción Gruesa (Pasa el Tamiz N°200) = 96,05%
Total= 100,00%



Material fino que pasa el tamiz N°200 = 3,95%

Anexo 10. *Procesamiento de datos del ensayo de abrasión en la máquina de los ángeles.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

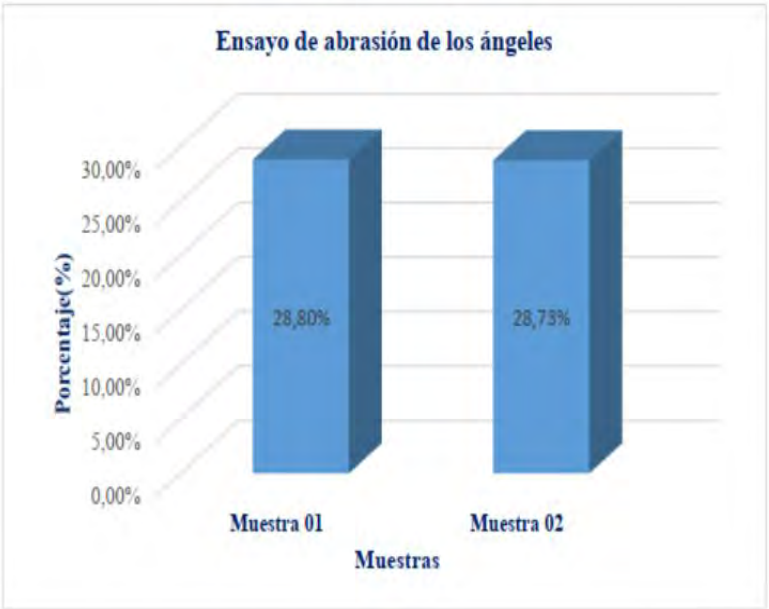
Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado grueso

Cantera
Agregado Grueso: Vicho

ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ANGELES (I.A) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37.5 mm (1 ½")

Descripción	Muestra 01	Muestra 02
Peso Inicial (g)	5 001,52	5 000,10
Peso que retiene la malla N°12(g)	3 561,24	3 563,62
Porcentaje (%)	28,80%	28,73%



Porcentaje de desgaste de los agregados = 28,76%

Anexo 11. *Procesamiento de datos del análisis granulométrico del agregado fino.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado Fino

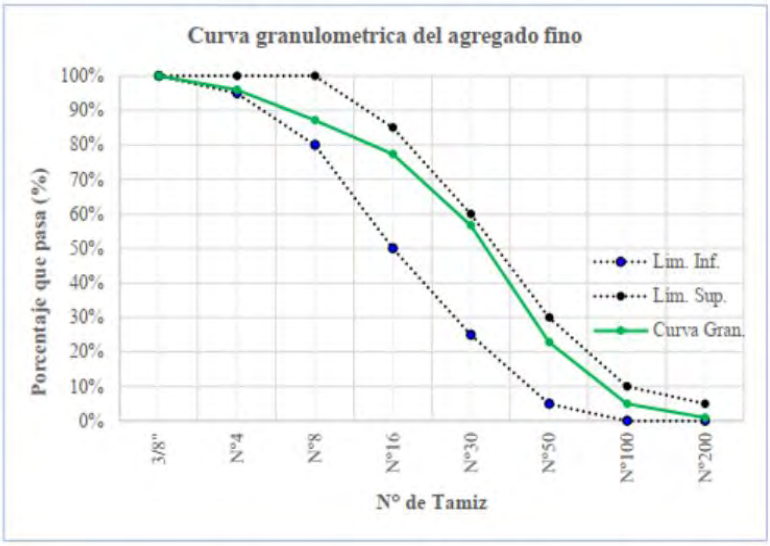
Cantera
Agregado Fino: Cunyac

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

TAMIZ		AGREGADO FINO				ESP. NTP 400.037	
Abertura de Tamiz		Peso	Porcentaje Parc. Ret.	% acumulado		Lim. Inf.	Lim. Sup.
Pulgadas	mm	Retenido		Retenido	Pasante	%	%
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00	100	100
N°4	4,75	39,95	4,00	4,00	96,00	95	100
N°8	2,36	88,55	8,86	12,86	87,14	80	100
N°16	1,18	97,76	9,79	22,65	77,35	50	85
N°30	0,59	205,82	20,60	43,25	56,75	25	60
N°50	0,297	338,65	33,90	77,15	22,85	5	30
N°100	0,149	178,87	17,91	95,06	4,94	0	10
N°200	0,075	39,70	3,97	99,03	0,97	0	5
Fondo <N°200		9,65	0,97	100,00	0,00		
Peso Total		998,95		Verificación:		SI CUMPLE	
PESO TOTAL DE LA MUESTRA(g)				1000			

Módulo de fineza = 2.55

Tipo de arena: Arena gruesa



Anexo 12. Procesamiento de datos del contenido de humedad del agregado fino.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

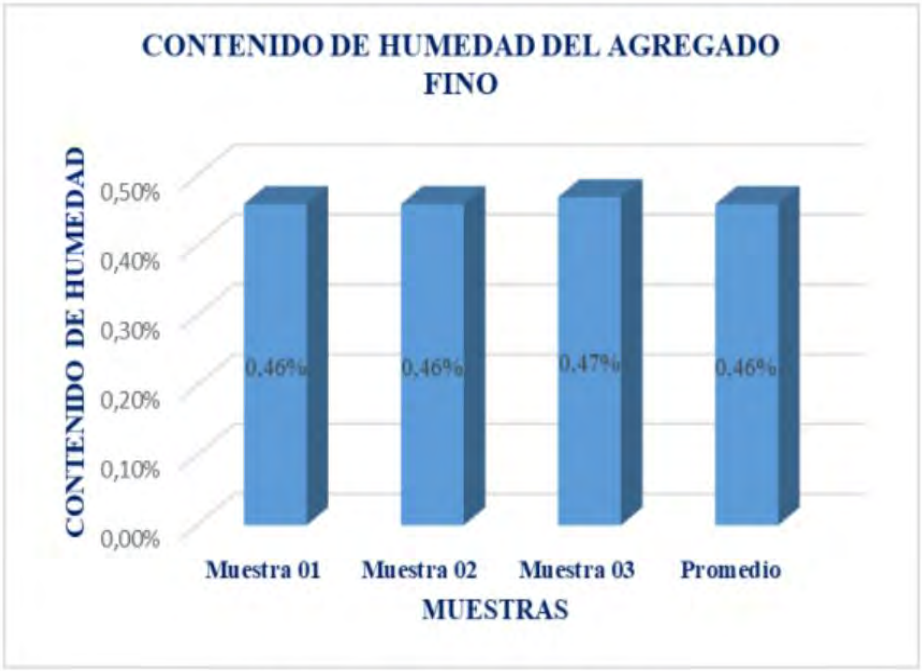
Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado Fino

Cantera
Agregado Fino: Cunyac

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Masa de cápsula (g)	112,23	123,25	110,45
Masa de cápsula + Muestra húmeda (g)	612,23	623,25	610,45
Masa de cápsula + Muestra seca (g)	609,94	620,97	608,11
Masa del agua (g)	2,29	2,28	2,34
Masa de la muestra seca (g)	497,71	497,72	497,66
Contenido de humedad (%)	0,46%	0,46%	0,47%
Contenido de humedad promedio (%)		0,46%	



Contenido de humedad natural = 0.46%

Anexo 13. *Procesamiento de datos del peso específico y absorción del agregado fino.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

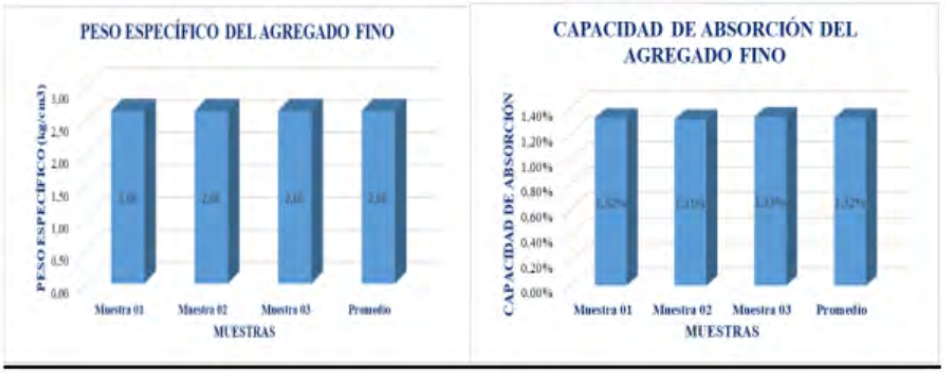
Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado Fino

Cantera
Agregado Fino: Cunyac

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso de la muestra saturada superficialmente seca (g)	500,00	500,00	500,00
Peso del picnómetro + agua (g)	693,34	693,29	693,30
Peso de la muestra + agua + peso del picnómetro (g)	1007,57	1007,61	1007,61
Peso de la muestra seca en horno (g)	493,50	493,55	493,45
Peso específico de masa (Pe)	2,66	2,66	2,66
Promedio de peso específico de masa (g/cm^3)		2,66	
Peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm^3)	2,69	2,69	2,69
Promedio de peso específico de masa saturada con superficie seca (g/cm^3)		2,69	
Peso específico aparente (Pea)	2,75	2,75	2,75
Promedio de peso específico aparente (g)		2,75	
Absorción del agregado (%)	1,32%	1,31%	1,33%
Promedio de absorción del agregado (%)		1,32%	

% de error		
Peso específico	0,00%	**Ok**
Capacidad de absorción	1,52%	**Ok**



Peso específico = 2,66 g/cm^3
Capacidad de absorción = 1,32%

Anexo 14. *Procesamiento de datos del peso unitario suelto y porcentajes de vacíos del agregado fino.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado Fino
Cantera
Agregado Fino: Cunyac

PESO UNITARIO SUELTO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Identificación del molde	2	2	2
Peso del molde (g)	4 230,00	4 230,00	4 230,00
Peso del molde + la muestra suelta (g)	5 740,00	5 740,00	5 745,00
Peso de la muestra suelta (g)	1 510,00	1 510,00	1 515,00
Altura del molde (cm)	11,60	11,60	11,60
Diámetro del molde (cm)	10,10	10,10	10,10
Volumen del molde (cm^3)	929,37	929,37	929,37
Peso específico (kg/m^3)	2 752,83	2 753,72	2 754,55
Peso unitario suelto (kg/m^3)	1 624,75	1 624,75	1 630,13
Peso unitario suelto promedio (kg/m^3)		1 626,54	
Porcentaje de vacíos (%)	40,89%	40,91%	40,73%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		40,84%	

% de error		
Peso unitario suelto	0,33%	Ok
Porcentaje de vacíos	0,44%	Ok





Peso unitario suelto = 1626,54 kg/m^3

Porcentaje de vacíos = 40,84%

Anexo 15. *Procesamiento de datos del peso unitario varillado y porcentaje de vacíos del agregado fino.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

Tesis: "EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO_2024"

Responsables: Fray Luis Choccata Sotelo
Anderson Santoyo Puclla
Asesora: Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Muestra: Agregado Fino

Cantera
Agregado Fino: Cunyac

PESO UNITARIO VARILLADO Y PORCENTAJE DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO

Descripción	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Identificación del molde	2	2	2
Peso del molde (g)	4 230,00	4 230,00	4 230,00
Peso del molde + la muestra varillada (g)	5 910,00	5 895,00	5 895,00
Peso de la muestra varillada (g)	1 680,00	1 665,00	1 665,00
Altura del molde (cm)	11,60	11,60	11,60
Diámetro del molde (cm)	10,10	10,10	10,10
Volumen del molde (cm³)	929,37	929,37	929,37
Peso específico (kg/m³)	2 752,83	2 753,72	2 754,55
Peso unitario varillado (kg/m³)	1 807,67	1 791,53	1 796,91
Peso unitario varillado promedio (kg/m³)		1 796,91	
Porcentaje de vacíos (%)	34,24%	34,85%	34,87%
Porcentaje de vacíos promedio (%)		34,65%	

% de error		
Peso unitario varilllado	0,90%	**Ok**
Porcentaje de vacíos	1,82%	**Ok**





Peso unitario varillado = 1796,91 kg/m³

Porcentaje de vacíos = 34,65 %

Anexo 16. *Diseño de concreto sin mineral de microsílice.*

Diseño del concreto con relacion a/c=0,60

1) DATOS DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

TIPO DE CONSTRUCCION	Pavimentos
RESISTENCIA A DISEÑAR (F´c)	Se asumira relaciones a/c
SLUM(PULGADAS)	4 pulg
AIRE EN EL CONCRETO	El concreto no es con aire incluido

Cemento Sol	
TIPO DE CEMENTO	Tipo 1
PESO ESPECIFICO	3,13 g/cm^3
PESO POR BOLSA	42,5 Kg

AGREGADO	FINO	GRUESO
Peso Unitario Suelto Seco(kg/m3)	1626,54	1484,59
Peso unitario compactado seco (Kg/m3):	1796,91	1616,02
Peso especifico del agregado (kg/m3):	2656,51	2643,40
Porcentaje de Absorción:	1,32%	0,98%
Contenido de Humedad:	0,46%	0,23%
Modulo de Finura:	2,55	-
Tamaño Màximo nominal: Pulgadas =	-	3/4

Agua	998	kg/m^3

2) DISEÑO DE CONCRETO

A) Contenido de aire atrapado

Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = **2,0 %**

B) Volumen del agua

Para concreto sin aire incluido :

202 lt ó 202 kg

Para concreto con aire incluido :

184 lt ó 184 kg

En este caso tomaremos 202 kg de agua para un metro cubico de concreto ya que se diseñara concreto sin aire incluido.
Los datos de la cantidad de aire atrapado y volumen de agua se obtiene a partir de la siguiente tabla.

REQUISITOS APROXIMADOS DE CONTENIDO DE AGUA Y AIRE DE LA MEZCLA PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADOS							
	Agua, Kg/m3 de hormigón para tamaños nominales máximos de árido indicados						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1-1/2"	2"	3"
Slump	9.5 mm	12.5 mm	19.00 mm	25.0 mm	37.50 mm	50 mm	75.0 mm
	Concreto sin aire incorporado						
2,5 cm - 5,0 cm / 1" - 2"	208	199	187	178	166	154	130
7,5 cm - 10 cm / 3" - 4"	228	217	202	193	181	169	145
10 cm - 15 cm / 5" - 6"	237	222	208	196	181	172	151
15 cm - 17,5 cm / 6" - 7"	243	228	214	202	190	178	160
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado, porcentaje	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3
	Concreto con aire incorporado						
2,5 cm - 5,0 cm / 1" - 2"	181	175	168	160	148	142	122
7,5 cm - 10 cm / 3" - 4"	202	193	181	175	160	157	133
10 cm - 15 cm / 5" - 6"	211	199	187	178	166	160	142
15 cm - 17,5 cm / 6" - 7"	217	205	193	184	172	166	154
Porcentaje recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)							
Exposición Ligera	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5
Exposición Moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5
Exposición Severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5

C) Relaciòn agua cemento

0,4	0,5	0,6

Relaciòn a/c = 0,60

Ya no se usara la tabla a/c y resitencia del concreto ya que se asumira tres relaciones de a/c.

D) Determinar Cantidad de Cemento

$$\text{Cemento (kg)} = \frac{Volumen\ de\ Agua}{a/c}$$

Cemento (kilos)	336,67	Kg
Cemento (bolsas	**7,922**	Bls

$$\text{Cemento (bls)} = \frac{cemento\ (kg)}{42.5}$$

E) Cantidad de Agregado Grueso

La cantidad de agregado grueso se obtiene del uso de la siguiente tabla.
Usando el tamaño maximo nominal y el modulo de finura del agregado fino:

T. M. N.= 3/4
Mod. de finura= 2,55

Volumen de agregado grueso (m3) por volumen unitario de concreto				
Tamaño máximo del agregado grueso	Módulo de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 mm - 3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 mm - 1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19 mm - 3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25 mm - 1"	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 mm - 1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50 mm - 2"	0,78	0,76	0,74	0,72
75 mm - 3"	0,82	0,80	0,78	0,76
150 mm - 6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Como 2.55 no se encuentra en la tabla tenemos que interpolar.

Cantidad A. Grueso **0,6450 m³**
Peso del A. Grueso **1042,33 Kg**

F) Volúmenes Absolutos

$$\text{Cemento (m3)} = \frac{cemento\ (kg)}{P\ esp. \times 1000}$$

$$\text{Agreg. G (m3)} = \frac{Peso\ A\ G}{P\ esp.AG}$$

Cemento :	0,1076	m3
Agua :	0,202	m3
A. Grueso :	0,394315	m3
Aire :	0,02	m3
suma de Volúmenes =	0,724	m3

G) Contenido de Agregado Fino

Volumen Absoluto del Agregado Fi	0,276	m3
Peso del Agregado Fino Seco =	732	Kg

H) Valores Tentativos de diseño en estado seco

Cemento :	336,67 Kg
Agua de diseño :	202, Kg
Agregado fino seco :	732,45 Kg
Agregado grueso seco :	1042,33 Kg
Sumatoria	**2313,45 Kg**

I) Corrección por Humedad

A. Fino	735,82 Kg
A. Grueso	1044,76 Kg

$$\text{Correccion} = \text{Peso en seco}\ (w\% + 1)$$

J) Aporte de humedad a la mezcla

A. Fino	-6,277
A.Grueso	-7,799
Suma =	-14,076 Lt

$$\text{Aporte} = (\text{cont. humedad} - \text{Absorcion}) \times \text{Peso en seco}$$

K) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales

Cemento correguido :	360,127	Kg/m3	8,47	bols
Agua de diseño :	216,076	Lt/m3	0,22	m3
Agregado fino seco :	735,822	Kg/m3	0,28	m3
Agregado grueso seco :	1044,761	Kg/m3	0,40	m3
SUMATORIA TOTAL =	2356,786	Kg/m3		

CANTIDAD DE MATERIALES PARA REALIZAR PRUEBA DE CONO DE ABRAMS

Vol. Cono de Abrams 0,0055 m3

Vol. De materiales :

Cemento	1,981	Kg
Agua	1,188	Kg
A.Fino	4,047	Kg
A.Grueso	5,746	Kg
Total (Kg)	12,962	Kg

CANTIDAD DE MATERIALES PARA REALIZAR PRUEBA DE ROTURA DE PROBETAS

Haltura de la probeta =	0,3000	
Radio de la probeta =	0,0750	
vol. Probeta =	**0,0053**	m3

Vol. de materiales para probeta kg

		PARA 3 BRIQUETAS
Cemento :	**1,91 Kg**	**5,73** kg
Agua de diseño :	**1,15 Kg**	**3,44** kg
A. Fino :	**3,90 Kg**	**11,70** kg
A.grueso :	**5,54 Kg**	**16,62** kg
Sumatoria total =	**12,49 Kg**	

CANTIDAD DE MATERIALES PARA REALIZAR PRUEBA DE ROTURA DE VIGUETAS

Largo de la vigueta =	0,600	
Ancho de la vigueta =	0,150	
Alto de la vigueta =	0,150	
vol. Probeta =	**0,014**	m3

Vol. de materiales para probeta kg

		PARA 3 VIGUETAS
Cemento :	**4,86 Kg**	**14,59** kg
Agua de diseño :	**2,92 Kg**	**8,75** kg
A. Fino :	**9,93 Kg**	**29,80** kg
A.grueso :	**14,10 Kg**	**42,31** kg
Sumatoria total =	**31,82 Kg**	

CANTIDADES TOTALES DE MATERIALES

		CON DESPERDICIO + 5%
Cemento :	**22,29 Kg**	**23,408**
Agua de diseño :	**13,38 Kg**	**14,045**
A. Fino :	**45,55 Kg**	**47,828**
A.grueso :	**64,68 Kg**	**67,909**
Sumatoria total =	**145,9 Kg**	

Anexo 17. *Diseño de concreto con mineral de microsílice.*

Diseño del concreto con relacion a/c=0,60 ; microsilice =4%

1) DATOS DE LOS COMPONENTES DEL CONCRETO

TIPO DE CONSTRUCCION	
RESISTENCIA A DISEÑAR (F´c)	**Se asumira relaciones a/c**
SLUM(PULGADAS)	**4 pulg**
AIRE EN EL CONCRETO	El concreto no es con aire incluido

Cemento Sol	
TIPO DE CEMENTO	Tipo 1
PESO ESPECIFICO	3,13 gr/cm3
PESO POR BOLSA	42,5 Kg

AGREGADO	FINO	GRUESO
Peso Unitario Suelto Seco(kg/m3)	1626,54	1484,59
Peso unitario compactado seco (Kg/m3):	1796,91	1616,02
Peso especifico del agregado (kg/m3):	2656,51	2643,40
Porcentaje de Absorción:	1,32%	0,98%
Contenido de Humedad:	0,46%	0,23%
Modulo de Finura:	2,55	-
Tamaño Màximo nominal: Pulgadas =	-	3/4

Agua	998 kg/m^3
Microsilice	2200 kg/m^3

2) DISEÑO DE CONCRETO

A) Contenido de aire atrapado

Para concreto sin aire incluido el porcentaje de aire Atrapado debido al A.G de T.M.N = 0,75" es : **2,0 %**

B) Volumen del agua

Para concreto sin aire incluido :

202 lt ó 202 kg

Para concreto con aire incluido :

184 lt ó 184 kg

En este caso tomaremos 202 litros de agua ya que se diseñara concreto sin aire incluido.
Los datos de la cantidad de aire atrapado y volumen de agua se obtiene a partir de la siguiente tabla.

REQUISITOS APROXIMADOS DE CONTENIDO DE AGUA Y AIRE DE LA MEZCLA PARA DIFERENTES ASENTAMIENTOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADOS							
	Agua, Kg/m3 de hormigón para tamaños nominales máximos de árido indicados						
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1-1/2"	2"	3"
Slump	9.5 mm	12.5 mm	19.00 mm	25.0 mm	37.50 mm	50 mm	75.0 mm
	Concreto sin aire incorporado						
2,5 cm - 5,0 cm / 1" - 2"	208	199	187	178	166	154	130
7,5 cm - 10 cm / 3" - 4"	228	217	202	193	181	169	145
10 cm - 15 cm / 5" - 6"	237	222	208	196	181	172	151
15 cm - 17,5 cm / 6" - 7"	243	228	214	202	190	178	160
Cantidad aproximada de aire atrapado en concreto sin aire incorporado, porcentaje	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3
	Concreto con aire incorporado						
2,5 cm - 5,0 cm / 1" - 2"	181	175	168	160	148	142	122
7,5 cm - 10 cm / 3" - 4"	202	193	181	175	160	157	133
10 cm - 15 cm / 5" - 6"	211	199	187	178	166	160	142
15 cm - 17,5 cm / 6" - 7"	217	205	193	184	172	166	154
Porcentaje recomendado de aire a incluir según el tipo de exposición (%)							
Exposición Ligera	4,5	4	3,5	3	2,5	2	1,5
Exposición Moderada	6	5,5	5	4,5	4,5	4	3,5
Exposición Severa	7,5	7	6	6	5,5	5	4,5

C) Relaciòn agua cemento

0,4	0,5	0,6
	Relaciòn a/c =	0,60

Ya no se usara la tabla a/c y resitencia del concretro ya que se asumira tres relaciones a/c.

D) Determinar Cantidad de Cemento

$$\text{Cemento (kg)} = \frac{Volumen\ de\ Agua}{a/c}$$

Cemento (kilos)	336,67	Kg
Cemento (bolsas	**7,922**	Bls

$$\text{Cemento (bls)} = \frac{cemento\ (kg)}{42.5}$$

E) Cantidad de Agregado Grueso

La cantidad de agregado grueso se obtiene del uso de la siguiente tabla.
Usando el tamaño maximo nominal y el mudulo de finura del agregado fino:

T. M. N.=	3/4
Mod. de finura=	2,55

Volumen de agregado grueso (m3) por volumen unitario de concreto				
Tamaño máximo del agregado grueso	Módulo de finura de la arena			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5 mm - 3/8"	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5 mm - 1/2"	0,59	0,57	0,55	0,53
19 mm - 3/4"	0,66	0,64	0,62	0,60
25 mm - 1"	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5 mm - 1 1/2"	0,75	0,73	0,71	0,69
50 mm - 2"	0,78	0,76	0,74	0,72
75 mm - 3"	0,82	0,80	0,78	0,76
150 mm - 6"	0,87	0,85	0,83	0,81

Como 2,55 no se encuentra en la tabla tenemos que interpolar.

Cantidad A. Grueso	**0,6450 m³**
Peso del A. Grueso	**1042,33 Kg**

F) Volúmenes Absolutos

$$\text{Cemento (m3)} = \frac{cemento\ (kg)}{P\ esp. \times 1000}$$

$$\text{Agreg. G (m3)} = \frac{Peso\ A\ G}{P\ esp.AG}$$

Cemento :	0,1076	m3
Agua :	0,202	m3
A. Grueso :	0,394315	m3
Aire :	0,02	m3
suma de Volúmenes =	0,724	m3

G) Contenido de Agregado Fino

Volumen Absoluto del Agregado Fi	0,276	m3
Peso del Agregado Fino Seco =	732 Kg	

H) Valores Tentativos de diseño en estado seco

Cemento :	336,67 Kg
Agua de diseño :	202, Kg
Agregado fino seco :	732,45 Kg
Agregado grueso seco :	1042,33 Kg
Sumatoria	**2313,45 Kg**

I) Corrección por Humedad

$$\text{Correccion} = \text{Peso en seco}\ (w\% + 1)$$

A. Fino	735,82 Kg
A. Grueso	1044,76 Kg

J) Aporte de humedad a la mezcla

$$\text{Aporte} = (\text{cont. humedad} - \text{Absorcion}) \times \text{Peso en seco}$$

A. Fino	-6,277
A.Grueso	-7,799
Suma =	-14,076 Lt

K) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales

Cemento correguido :	360 Kg
Agua de diseño :	216,08 Lt
Agregado fino seco :	736 Kg
Agregado grueso seco :	1045 Kg
SUMATORIA TOTAL =	2357 Kg

M) Cantidad de microsilice

4%	% de Microsilice	4%	
6%			
8%	Microsilice=	14,41	KG
10%			

K) Pesos Finales por metro cúbico de los materiales con microsilice

Cemento	346 Kg
Microsilice:	14 Kg
Agua de diseño :	216,08 Lt
Agregado fino seco :	736 Kg
Agregado grueso seco :	1045 Kg
SUMATORIA TOTAL =	2357 Kg

Por lo tanto la relacion agua cemento varia
a/c= 0,63

Pero la relacion agua cementatante se conserva
a/cm= 0,6

CANTIDAD DE MATERIALES PARA REALIZAR PRUEBA DE CONO DE ABRAMS

Vol. Cono de Abrams 0,0055 m3

Vol. De materiales :

Cemento	1,901	Kg
Microsilice	,079	Kg
Agua	1,188	Kg
A.Fino	4,047	Kg
A.Grueso	5,746	Kg
Total (Kg)	12,962	Kg

CANTIDAD DE MATERIALES PARA REALIZAR PRUEBA DE ROTURA DE PROBETAS

Haltura de la probeta =	0,3000	
Radio de la probeta =	0,0750	
vol. Probeta =	**0,0053**	m3

Vol. de materiales para probeta kg

		PARA 3 BRIQUETAS	
Cemento :	**1,83 Kg**	**5,50**	kg
Microsilice :	**,08 Kg**	**0,23**	kg
Agua de diseño :	**1,15 Kg**	**3,44**	lt
A. Fino :	**3,90 Kg**	**11,70**	kg
A.grueso :	**5,54 Kg**	**16,62**	kg
Sumatoria total =	**12,49 Kg**		

CANTIDAD DE MATERIALES PARA REALIZAR PRUEBA DE ROTURA DE VIGUETAS

Largo de la vigueta =	0,600	
Ancho de la vigueta =	0,150	
Alto de la vigueta =	0,150	
vol. Probeta =	**0,014**	m3

Vol. de materiales para probeta kg

		PARA 3 VIGUETAS	
Cemento :	**4,67 Kg**	**14,00**	kg
Microsilice :	**,19 Kg**	**0,58**	
Agua de diseño :	**2,92 Kg**	**8,75**	kg
A. Fino :	**9,93 Kg**	**29,80**	kg
A.grueso :	**14,10 Kg**	**42,31**	kg
Sumatoria total =	**31,82 Kg**		

CANTIDADES TOTALES DE MATERIALES

		CON DESPERDICIO + 5%
Cemento :	**21,40 Kg**	**22,472**
Microsilice :	**,89 Kg**	**0,936**
Agua de diseño :	**13,38 Kg**	**14,045**
A. Fino :	**45,55 Kg**	**47,828**
A.grueso :	**64,68 Kg**	**67,909**
Sumatoria total =	**145,9 Kg**	

Anexo 18. *Lineamientos normativos para el ensayo de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.*

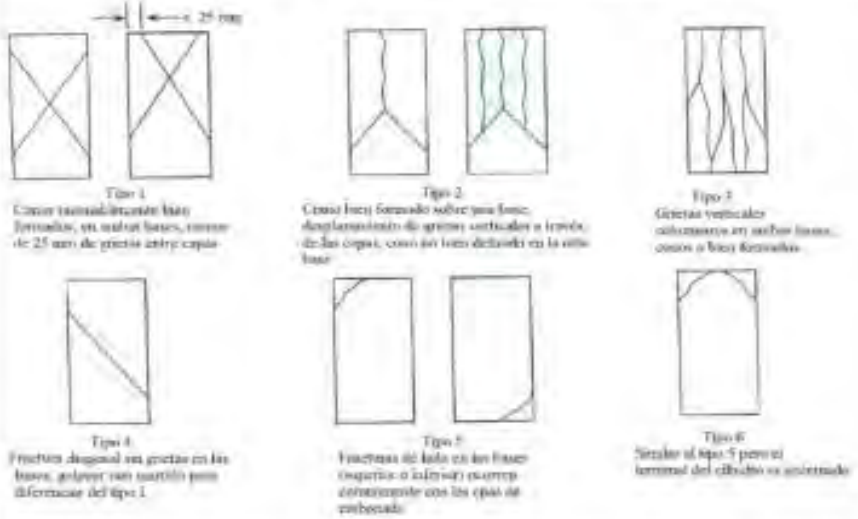
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS

Tesis:" Evacuación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco _ 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil

Tipo de muestra: Concreto endurecido
Presentación: Especímenes cilíndricos de 6" x 12"
F'c de diseño: Indica en la identificación

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A] Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo 19. *Resumen de resultados del ensayo de compresión de probetas cilíndricas.*

N° de ensayo	Fecha de vaciados	Código	a/c	Microsílice(%)	Fecha de rotura	Tiempo de curado(días)	Altura(cm)	Diámetro(cm)	Relación (Altura/ Diámetro)	Carga(kg)	Resistencia a compresión (kg/cm2)	Resistencia compresión promedio(kg/cm2)	Tipo de falla
1	29/09/2025	D1	0,60	-	29/10/2025	30	29,97	15,18	1,97	36470	201,51	194,84	2
2							30,47	15,23	2,00	35189	193,16		3
3							30,20	15,21	1,99	34493	189,84		3
4	29/09/2025	D2	0,60	4%	29/10/2025	30	30,31	15,21	1,99	52749	290,31	279,56	5
5							30,31	15,21	1,99	48962	269,47		5
6							30,15	15,24	1,98	50874	278,89		3
7	29/09/2025	D3	0,60	6%	29/10/2025	30	30,20	15,25	1,98	59565	326,11	330,47	2
8							30,24	15,30	1,98	61806	336,17		5
9							30,36	15,23	1,99	59961	329,14		3
10	30/09/2025	D4	0,60	8%	30/10/2025	30	30,22	15,25	1,98	66163	362,23	365,78	3
11							30,36	15,17	2,00	66123	365,84		3
12							30,34	15,26	1,99	67535	369,26		2
13	30/09/2025	D5	0,60	10%	30/10/2025	30	30,38	15,19	2,00	76611	422,75	425,71	5
14							30,27	15,20	1,99	76456	421,34		3
15							30,42	15,21	2,00	78684	433,05		3
16	30/09/2025	D6	0,50	-	30/10/2025	30	30,11	15,30	1,97	46886	255,02	284,38	5
17							30,32	15,20	1,99	57415	316,41		2
18							30,45	15,24	2,00	51388	281,71		3
19	1/10/2025	D7	0,50	4%	3/11/2025	33	30,26	15,24	1,99	64664	354,49	344,23	2
20							30,36	15,24	1,99	61406	336,63		3
21							30,35	15,23	1,99	62224	341,56		2
22	1/10/2025	D8	0,50	6%	3/11/2025	33	30,35	15,24	1,99	66612	365,17	357,39	3
23							30,59	15,27	2,00	64760	353,62		2
24							30,44	15,28	1,99	64802	353,39		3
25	1/10/2025	D9	0,50	8%	3/11/2025	33	30,35	15,22	1,99	74161	407,62	395,21	3
26							30,41	15,21	2,00	69459	382,28		2
27							30,42	15,15	2,01	71337	395,73		2
28	3/10/2025	D10	0,50	10%	4/11/2025	32	30,29	15,22	1,99	90355	496,63	462,36	3
29							30,60	15,22	2,01	80319	441,47		3
30							30,36	15,16	2,00	81045	448,99		4
31	3/10/2025	D11	0,40	-	4/11/2025	32	30,27	15,34	1,97	67846	367,1	383,14	3
32							30,41	15,24	2,00	72999	400,18		2
33							30,24	15,21	1,99	69434	382,14		3
34	3/10/2025	D12	0,40	4%	4/11/2025	32	30,41	15,20	2,00	74723	411,79	416,97	2
35							30,14	15,21	1,98	75130	413,49		3
36							30,37	15,26	1,99	77847	425,64		4
37	4/10/2025	D13	0,40	6%	5/11/2025	32	30,38	15,23	1,99	78483	430,81	435,42	5
38							30,55	15,20	2,01	79002	435,37		5
39							30,23	15,24	1,98	80279	440,09		3
40	4/10/2025	D14	0,40	8%	5/11/2025	32	30,13	15,12	1,99	79907	445,03	449,09	3
41							30,39	15,22	2,00	81233	446,49		5
42							30,23	15,24	1,98	83137	455,76		2
43	4/10/2025	D15	0,40	10%	5/11/2025	32	30,70	15,20	2,02	93261	513,95	478,98	3
44							30,30	15,27	1,98	85009	464,19		2
45							30,35	15,16	2,00	82817	458,81		5
46	7/11/2025	OPT	0,40	10%	5/12/2025	28	30,07	15,12	1,99	82277	458,23	452,67	3
47							30,40	15,23	2,00	81534	447,56		5
48							30,03	15,24	1,97	82493	452,23		2

Anexo 20. *Procesamiento de datos del ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas.*

Anexo20. 1. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.60 y Microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

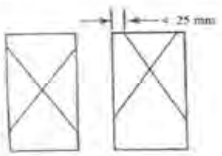
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimentos rígidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil
Tipo de muestra Probetas cilíndricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D1(0,60 - 0% Microsílice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (días	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
1	D1	29/09/2025	29/10/2025	30	15,18	29,97	1,97	2	36,469,52	201,51	194,84
2					15,23	30,47	2,00	3	35,189,00	193,16	
3					15,21	30,2	1,99	3	34,493,40	189,84	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 2. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.60 y Microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

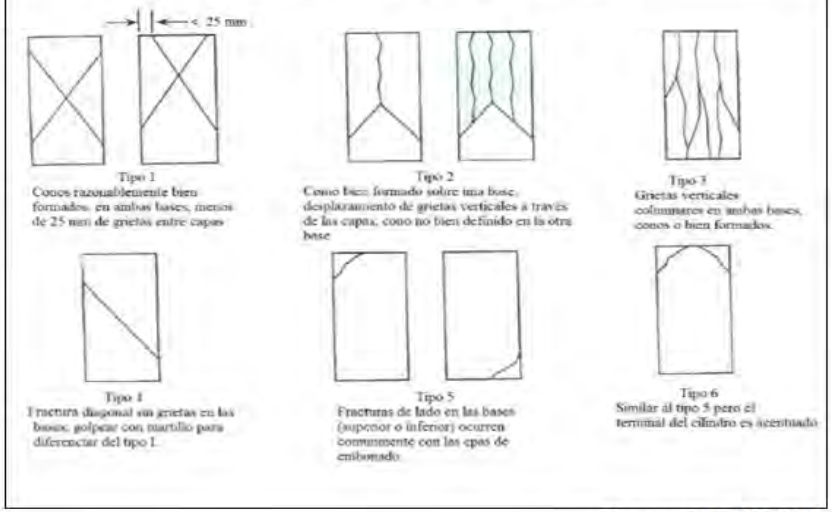
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra: Probetas cilíndricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D2(0,60 - 4% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboración	Fecha de rotura	Edad(días)	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión promedio(kg/cm²)
4	D2	29/09/2025	29/10/2025	30	15,21	30,31	1,99	5	52,748,52	290,31	279,56
5					15,21	30,31	1,99	5	48,961,95	269,47	
6					15,24	30,15	1,98	3	50,873,63	278,89	

Esquema de patrones de tipos de fracture



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D^A	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

^Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 3. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.60 y Microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

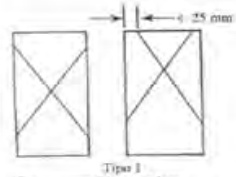
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D3(0,60 - 6% Microsílice)

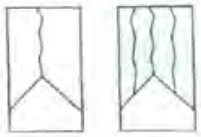
RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (dias	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
7	D3	29/09/2025	29/10/2025	30	15,25	30,2	1,98	2	59,565,35	326,11	330,47
8					15,30	30,24	1,98	5	61,806,15	336,17	
9					15,23	30,36	1,99	3	59,961,21	329,14	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



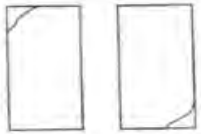
Tipo 2
Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado

Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 4. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.60 y Microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

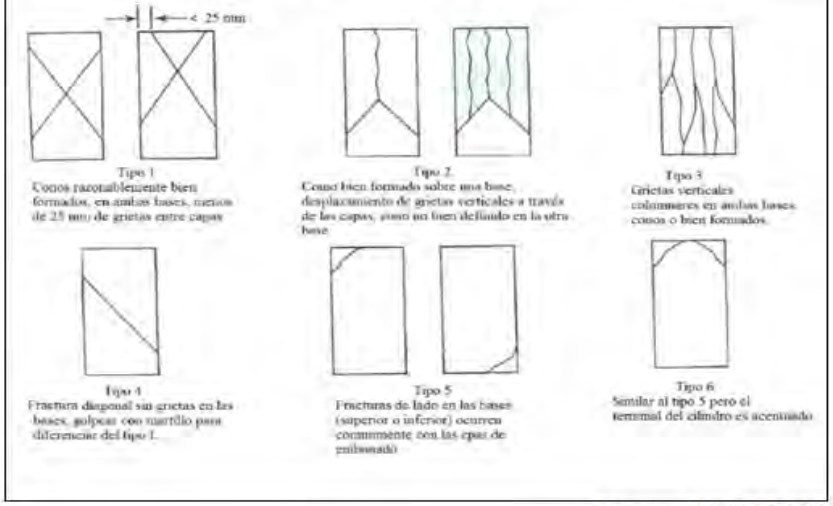
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D4(0,60 - 8% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (días	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
10	D4	30/09/2025	30/10/2025	30	15,25	30,22	1,98	3	66,162,82	362,23	365,78
11					15,17	30,36	2,00	3	66,122,95	365,84	
12					15,26	30,34	1,99	2	67,535,36	369,26	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87
[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.				

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 5. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.60 y Microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

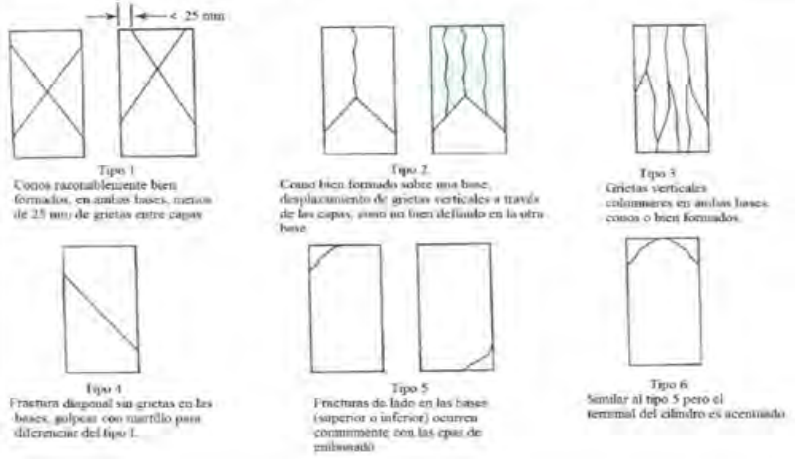
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimentos rígidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil

Tipo de muestra Probetas cilíndricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D5(0.60 - 10% Microsílice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (días	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
13	D5	30/09/2025	30/10/2025	30	15,19	30,38	2,00	5	76,610,63	422,75	425,71
14					15,20	30,27	1,99	3	76,455,68	421,34	
15					15,21	30,42	2,00	3	78,683,99	433,05	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 6. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.50 y Microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

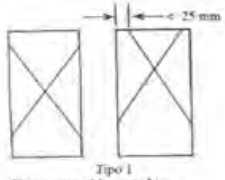
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimentos rígidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D6(0,50 - 0% Microsilice)

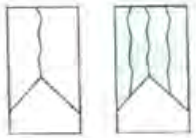
RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (dias	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
16	D6	30/09/2025	30/10/2025	30	15,30	30,11	1,97	5	46,886,41	255,02	284,38
17					15,20	30,32	1,99	2	57,415,25	316,41	
18					15,24	30,45	2,00	3	51,388,04	281,71	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



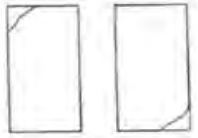
Tipo 2
Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comunmente con las caps de embonado



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado

Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 7. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.50 y Microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

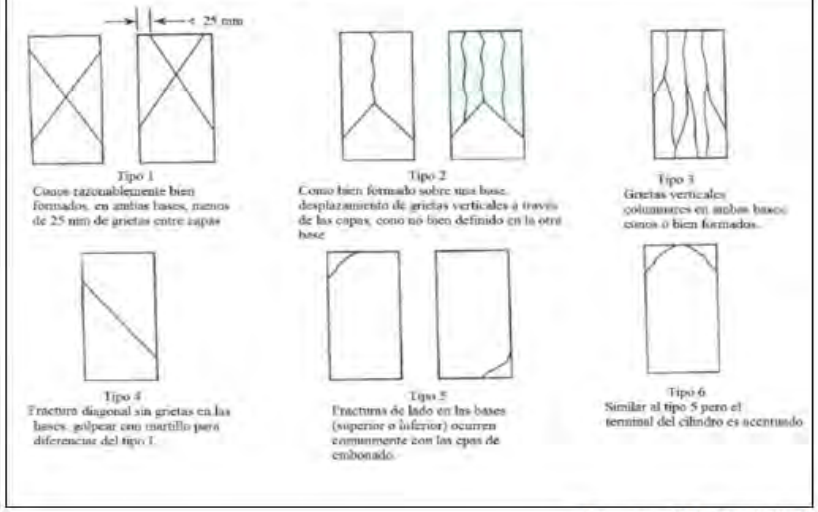
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D7(0,50 - 4% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (dias	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
19	D7	1/10/2025	3/11/2025	33	15,24	30,26	1,99	2	64,664,18	354,49	344,23
20					15,24	30,36	1,99	3	61,406,26	336,63	
21					15,23	30,35	1,99	2	62,223,82	341,56	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 8. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.50 y Microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

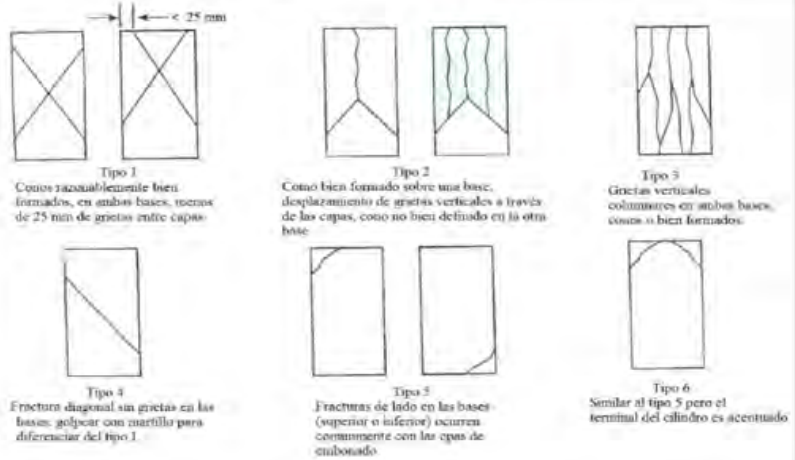
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D8(0,50 - 6% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (dias	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
22	D8	1/10/2025	3/11/2025	33	15,24	30,35	1,99	3	66,612,37	365,17	357,39
23					15,27	30,59	2,00	2	64,759,69	353,62	
24					15,28	30,44	1,99	3	64,802,36	353,39	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 9. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.50 y Microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

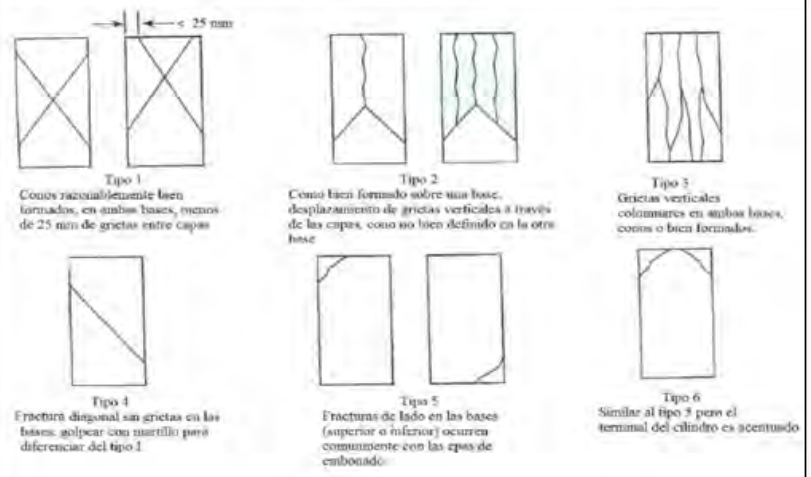
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D9(0,50 - 8% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (días	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
25	D9	1/10/2025	3/11/2025	33	15,22	30,35	1,99	3	74,160,85	407,62	395,21
26					15,21	30,41	2,00	2	69,459,22	382,28	
27					15,15	30,42	2,01	2	71,336,88	395,73	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1.75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 10. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.50 y Microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

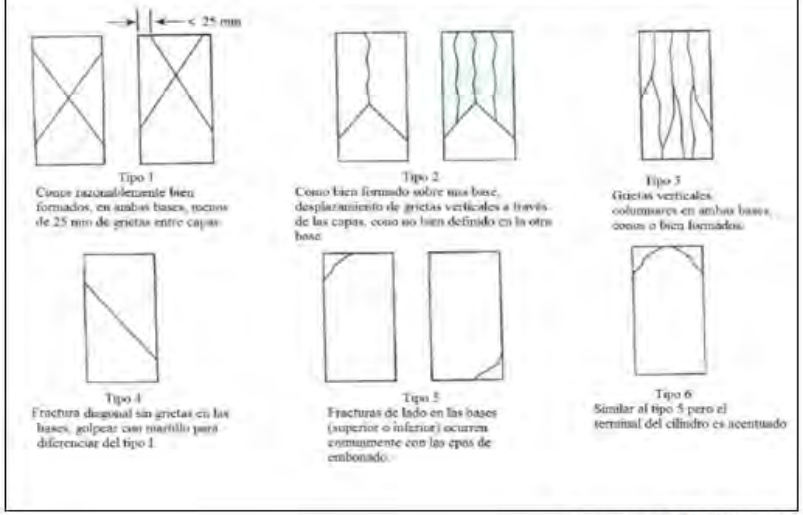
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D10(0,50 - 10% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (dias	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
28	D10	3/10/2025	4/11/2025	32	15,22	30,29	1,99	3	90,354,99	496,63	462,36
29					15,22	30,6	2,01	3	80,319,39	441,47	
30					15,16	30,36	2,00	4	81,044,76	448,99	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 11. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.40 y Microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

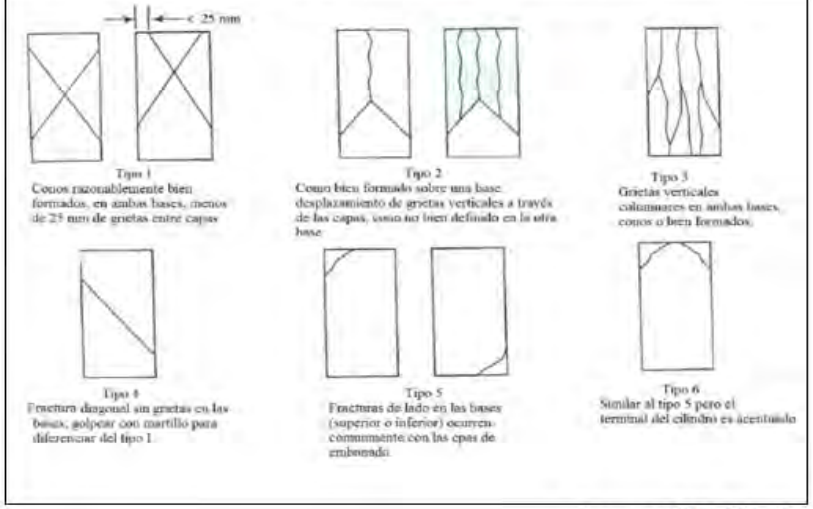
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D11(0,40 - 0% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (días	Diámetr o(cm)	Altur a(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
31	D11	3/10/2025	4/11/2025	32	15,34	30,27	1,97	3	67,846,12	367,1	383,14
32					15,24	30,41	2,00	2	72,998,71	400,18	
33					15,21	30,24	1,99	3	69,433,78	382,14	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 12. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.40 y Microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

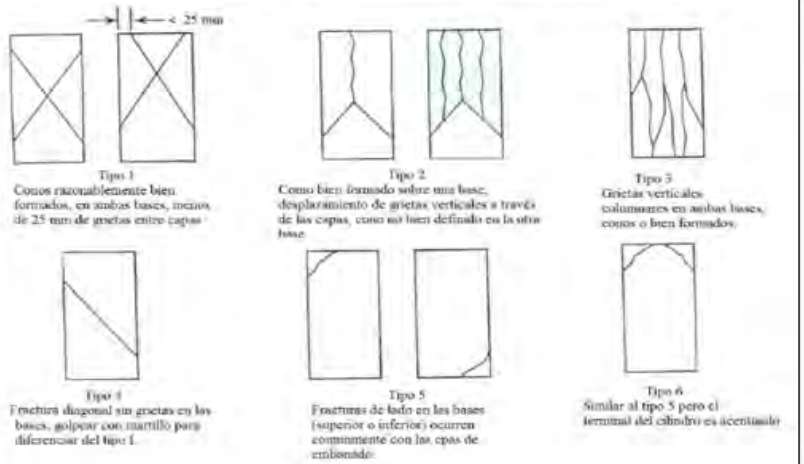
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D12(0,40 - 4% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (dias	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
34	D12	3/10/2025	4/11/2025	32	15,20	30,41	2,00	2	74,722,75	411,79	416,97
35					15,21	30,14	1,98	3	75,129,99	413,49	
36					15,26	30,37	1,99	4	77,846,91	425,64	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 13. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.40 y Microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

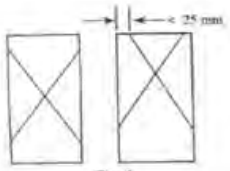
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimentos rígidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil

Tipo de muestra Probetas cilíndricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilíndricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D13(0,40 - 6% Microsílice)

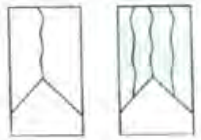
RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (dias	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
37	D13	4/10/2025	5/11/2025	32	15,23	30,38	1,99	5	78,482,98	430,81	435,42
38					15,20	30,55	2,01	5	79,001,54	435,37	
39					15,24	30,23	1,98	3	80,278,88	440,09	

Esquema de patrones de tipos de fracture



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas



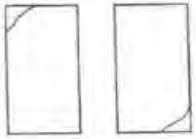
Tipo 2
Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base



Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados.



Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo 1.



Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren conmunmente con las capas de emboñado.



Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado

Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 14. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.40 y Microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

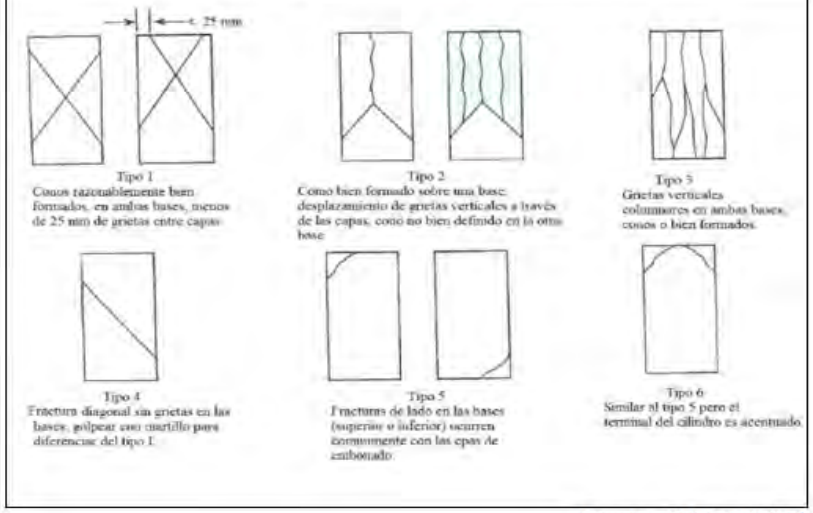
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilíndricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D14(0,40 - 8% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (días	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
40	D14	4/10/2025	5/11/2025	32	15,12	30,13	1,99	3	79,906,62	445,03	449,09
41					15,22	30,39	2,00	5	81,232,71	446,49	
42					15,24	30,23	1,98	2	83,137,32	455,76	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 15. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica con una relación a/c=0.40 y Microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

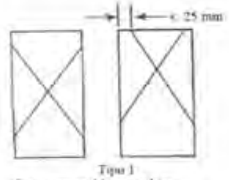
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimentos rígidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: D15(0,40 - 10% Microsílice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (dias	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
43	D15	4/10/2025	5/11/2025	32	15,20	30,7	2,02	3	93,260,54	513,95	478,98
44					15,27	30,3	1,98	2	85,008,77	464,19	
45					15,16	30,35	2,00	5	82,817,32	458,81	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Tipo 1
Conos razonablemente bien formados, en ambas bases, menos de 25 mm de grietas entre capas

Tipo 2
Cono bien formado sobre una base, desplazamiento de grietas verticales a través de las capas, cono no bien definido en la otra base

Tipo 3
Grietas verticales columnares en ambas bases, conos o bien formados

Tipo 4
Fractura diagonal sin grietas en las bases, golpear con martillo para diferenciar del tipo I.

Tipo 5
Fracturas de lado en las bases (superior o inferior) ocurren comúnmente con las capas de embonado

Tipo 6
Similar al tipo 5 pero el terminal del cilindro es acentuado

Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo20. 16. *Ensayo de compresión para una probeta cilíndrica optima aplicado en obra con una relación a/c=0.40 y Microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE PROBETAS CILÍNDRICAS (NTP 339.034)

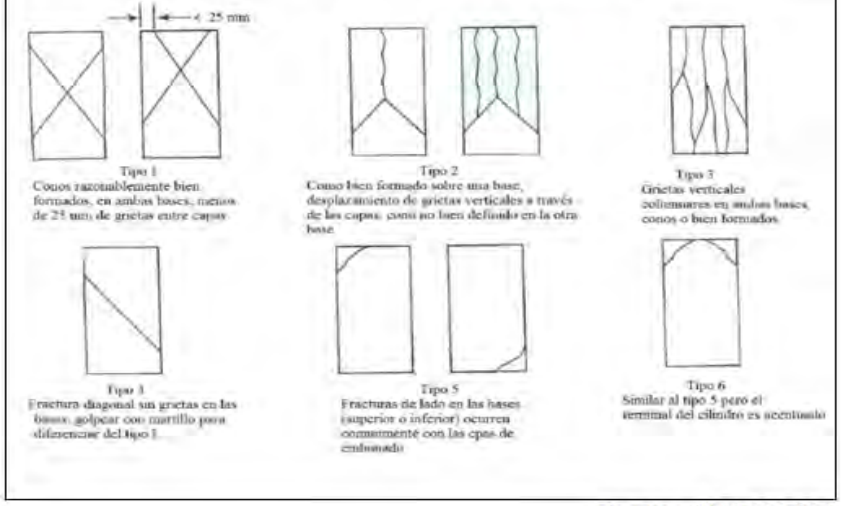
Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimentos rigidos, Cusco - 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingenieria Civil

Tipo de muestra Probetas cilindricas de 6"x12"
Ensayo: Resistencia a compresión del concreto en muestras cilindricas
Presentación: Indica en la identificación
Diseño: Optimo aplicado en obra(0,40 - 10% Microsilice)

RESULTADOS

N° de ensayo	Identificación	Fecha de elaboració	Fecha de rotura	Edad (días	Diámetro(cm)	Altura(cm)	Relación (Altura/Diámetro)	Tipo de falla	Carga máxima(kg)	Resistencia a compresión(kg/cm²)	Resistencia a compresión
46	O	7/11/2025	5/12/2025	28	15,12	30,07	1,99	3	82,276,72	458,23	452,67
47					15,23	30,40	2,00	5	81,534,41	447,56	
48					15,24	30,03	1,97	2	82,493,40	452,23	

Esquema de patrones de tipos de fractura



Fuentes:NTP 339.034

Factores de corrección por relación altura y Diámetro

9.2 Si la relación de la longitud del espécimen al diámetro es 1,75 o menor, corregir el resultado obtenido en 9.1 multiplicando por un factor apropiado de corrección mostrado en la siguiente tabla (Nota 13):

TABLA 3 – Relación longitud a diámetro del espécimen

L/D[A]	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor	0,98	0,96	0,93	0,87

[A]Use la interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D indicados en la tabla.

Fuentes:NTP 339.034

Presión aceptada parar el ensayo

	Coeficiente de variación	Rango aceptable de resistencia de cilindros individuales	
		2 Cilindros	3 Cilindros
Cilindros de 150 mm x 300 mm			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de Obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
Cilindros de 100 mm y 200 mm			
Condiciones de laboratorio.	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Fuentes:NTP 339.034

Anexo 21. *Ensayo a flexión*

Figura 4. *Esquema del ensayo a flexión.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

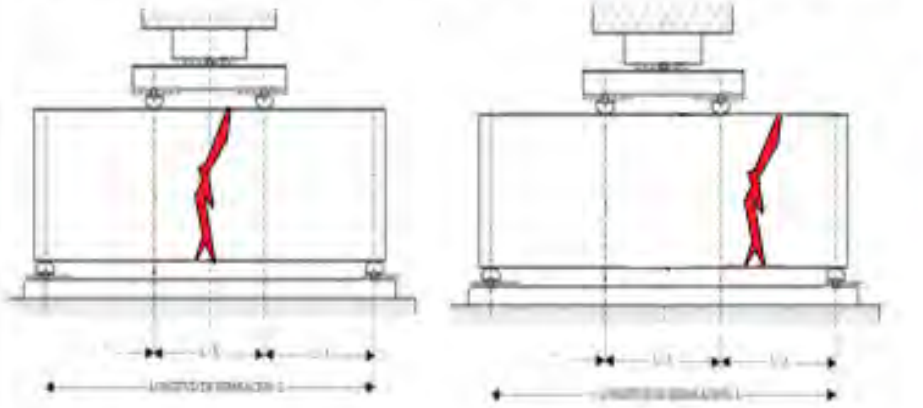
ENSAYO DE RESISTENCIA A FLEXION DE PROBETAS PRISMATICAS

Tesis:" Evacuación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco _ 2024"
Tesistas: Bach. Choccata Sotelo, Fray Luis
Bach. Santoyo Puclla, Anderson
Ubicación: Laboratorio de la facultad de Ingeniería Civil

Tipo de muestra: Concreto endurecido
Presentación: Especímenes prismáticos de 15cmx15cmx60cm
F'c de diseño: Indica en la identificación

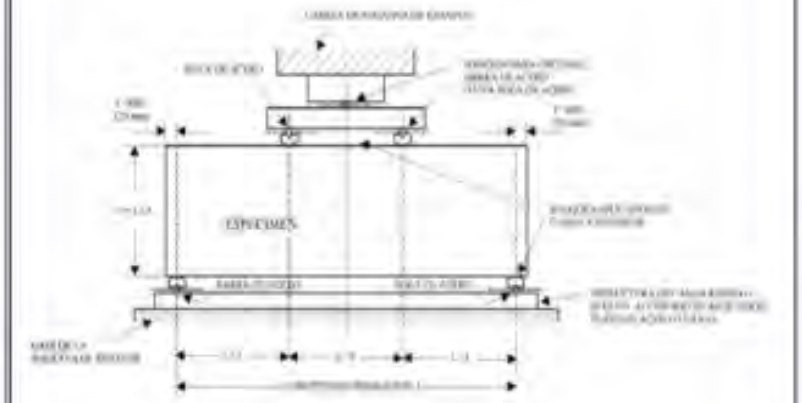
Esquema de patrones de tipos de fractura

Fractura en el tercio medio **Fractura fuera del tercio medio**



Fuente: Elaboración propia

Esquema del ensayo



Fuente: ASTM C78

Tabla 66. *Resumen de resultados del módulo de elasticidad mediante el ensayo de flexión.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis: **Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**
Tesistas: Bach. Anderson Santoyo Puclla — **Norma:** ASTM C469
Bach. Fray Luis Choccata Sotelo — **Lugar:** Laboratorio de la facultad de ingenieria civil UNSAAC
Ensayo: Ensayo normalizado para El Módulo de Elasticidad Estático — **Fecha:**
Velocidad de ensayo: 1 Mpa/min

N° de ensayo	Fecha de elaboracion	Codigo	a/c	Microsilice	Fecha de ensayo	Tiempo de curado (dias)	Medidas promedio de la muestra (cm)			Ubicación de la falla	Carga en el punto de rotura	Deflexion (cm)	Modulo de Elasticidad (kgf/cm2)	Promedio modulo de elasticidad (kgf/cm2)
							Ancho	Altura	Longitud entre apoyos					
1							15,03	15,15	45	Tercio central	3295,349	0,00254	192979,94	
2	29/09/2025	D1	0,6	-	29/10/2025	30	15	15,1	45	Tercio central	3484,043	0,00273	191728,22	228206,27
3							15,08	15,04	45	Tercio central	3752,117	0,00189	299910,67	
4							15,12	15,04	45	Tercio central	3479,507	0,00229	229657,40	
5	29/09/2025	D2	0,6	4%	29/10/2025	30	15,06	15,1	45	Tercio central	3440,952	0,00258	199320,69	240212,28
6							15,15	14,98	45	Tercio central	3384,253	0,00177	291658,75	
7							15,1	15,08	45	Tercio central	2731,534	0,00126	324858,36	
8	29/09/2025	D3	0,6	6%	29/10/2025	30	15,12	15,04	45	Tercio central	3088,057	0,00187	248553,50	276454,70
9							15,6	15,2	45	Tercio central	3512,166	0,00194	255952,22	
10							15,05	15,02	45	Tercio central	3496,744	0,00198	269281,20	
11	30/09/2025	D4	0,6	8%	30/10/2025	30	15,1	15,15	45	Tercio central	3122,984	0,00200	231174,12	243017,49
12							14,9	15,06	45	Tercio central	3222,321	0,00215	228597,13	
13							15,12	15,02	45	Tercio central	3505,362	0,00154	345329,66	
14	30/09/2025	D5	0,6	10%	30/10/2025	30	15	15,18	45	Tercio central	3130,695	0,00122	379643,50	366348,25
15							15,08	15,02	45	Tercio central	3086,243	0,00125	374071,59	
16							15	15,1	45	Tercio central	3461,817	0,00187	278254,38	
17	30/09/2025	D6	0,5	-	30/10/2025	30	15,02	15	45	Tercio central	3587,009	0,00168	326990,77	273670,80
18							15,06	14,98	45	Tercio central	3441,859	0,00245	215767,25	
19							15,08	15,04	45	Tercio central	3783,414	0,00148	386440,32	
20	1/10/2025	D7	0,5	4%	3/11/2025	33	15,02	14,98	45	Tercio central	3472,25	0,00194	274788,34	323152,43
21							15	15,1	45	Tercio central	3641,894	0,00178	308228,65	
22							15,06	15,1	45	Tercio central	3756,199	0,00115	489733,22	
23	1/10/2025	D8	0,5	6%	3/11/2025	33	15,08	15,15	45	Tercio central	3906,338	0,00168	344477,24	379836,75
24							15,12	14,95	45	Tercio central	3318,029	0,00167	305299,77	
25							15,12	15,08	45	Tercio central	3268,587	0,00183	267395,91	
26	1/10/2025	D9	0,5	8%	3/11/2025	33	15,13	14,98	45	Tercio central	3589,73	0,00173	317329,69	336868,20
27							15,06	15,13	45	Tercio central	2861,715	0,00100	425879,01	
28							15,12	14,92	45	Tercio central	3014,575	0,00150	310374,40	
29	3/10/2025	D10	0,5	10%	4/11/2025	32	15,1	15,15	45	Tercio central	3686,346	0,00122	447891,23	356705,60
30							14,98	15	45	Tercio central	3208,713	0,00158	311851,16	
31							15,1	15,2	45	Tercio central	3932,193	0,00233	247043,14	
32	3/10/2025	D11	0,4	-	4/11/2025	32	15,2	15,1	45	Tercio central	4066,91	0,00197	305779,01	311637,96
33							15,08	14,98	45	Tercio central	3689,067	0,00148	382091,71	
34							15,12	15,08	45	Tercio central	3675,006	0,00282	195185,23	
35	3/10/2025	D12	0,4	4%	4/11/2025	32	15,2	15	45	Tercio central	3669,563	0,00142	391386,45	308671,04
36							15,06	15,04	45	Tercio central	3875,947	0,00173	339441,44	
37							15,06	14,98	45	Tercio central	4791,75	0,00112	656020,38	
38	4/10/2025	D13	0,4	6%	5/11/2025	32	15,13	15,2	45	Tercio central	3671,831	0,00134	401380,16	507873,44
39							15,25	15,25	45	Tercio central	3591,998	0,00111	466219,78	
40							15,1	15,08	45	Tercio central	3550,722	0,00194	273686,88	
41	4/10/2025	D14	0,4	8%	5/11/2025	32	15,02	15,2	45	Tercio central	3933,553	0,00252	229712,90	252042,24
42							15,12	15,05	45	Tercio central	3815,166	0,00227	252726,93	
43							15,2	15,13	45	Tercio central	3610,596	0,00135	394354,11	
44	4/10/2025	D15	0,4	10%	5/11/2025	32	15,06	15,15	45	Tercio central	3855,536	0,00205	278785,15	324884,54
45							15,15	14,98	45	Tercio central	3857,35	0,00195	301514,34	
46							15,06	15,02	45	Tercio central	3044,059	0,00170	272377,35	
47	7/10/2025	OPT	0,4	10%	5/12/2025	28	15	15,1	45	Tercio central	3023,194	0,00215	210868,26	253035,00
48							15,2	14,98	45	Tercio central	3440,499	0,00189	275859,39	

Anexo 22. *Ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto.*

Tabla 67. *Resumen de resultados del ensayo de módulo de elasticidad estático del concreto.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla
	Bach. Fray Luis Choccata Sotelo
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático
Norma:	ASTM C469
Lugar:	Laboratorio de la facultad de ingenieria civil UNSAAC
Fecha:	
Velocidad de ensayo:	1 Mpa/min

N° de ensayo	Fecha de elaboración	Codigo	a/c	Microsilice	Fecha de ensayo	Tiempo de curado (dias)	Medidas promedio de la muestra (cm)		Modulo de Elasticidad (kg/cm^2)	Promedio modulo de elasticidad (kg/cm^2)
							Diametro	Altura		
1							15,03	29,52	217 866,39	
2	29/09/2025	D1	0,6	-	29/10/2025	30	15	29,68	220 914,20	218 863,75
3							15,08	29,74	217 810,66	
4							15,12	29,81	226 215,56	
5	29/09/2025	D2	0,6	4%	29/10/2025	30	15,06	29,89	226 513,71	227 703,39
6							15,15	29,95	230 380,90	
7							15,1	29,97	233 910,13	
8	29/09/2025	D3	0,6	6%	29/10/2025	30	15,12	30,02	237 485,32	233 207,24
9							15,6	30,08	228 226,28	
10							15,05	30,15	245 035,90	
11	30/09/2025	D4	0,6	8%	30/10/2025	30	15,1	29,63	246 718,83	247 736,14
12							14,9	29,71	251 453,68	
13							15,22	29,79	251 779,94	
14	30/09/2025	D5	0,6	10%	30/10/2025	30	15	29,86	257 076,18	253 791,64
15							15,08	29,92	252 518,82	
16							15	29,99	244 484,40	
17	30/09/2025	D6	0,5	-	30/10/2025	30	15,02	30,04	239 347,01	240 753,91
18							15,06	30,11	238 430,34	
19							15,08	30,18	260 509,36	
20	1/10/2025	D7	0,5	4%	3/11/2025	33	15,02	30,23	252 493,58	254 093,36
21							15	29,57	249 277,13	
22							15,06	29,66	259 788,98	
23	1/10/2025	D8	0,5	6%	3/11/2025	33	15,08	29,73	261 013,79	260 773,94
24							15,12	29,83	261 519,05	
25							15,12	29,9	271 183,54	
26	1/10/2025	D9	0,5	8%	3/11/2025	33	15,13	29,96	269 188,76	270 228,15
27							15,06	30,01	270 312,15	
28							15,12	30,06	281 885,54	
29	3/10/2025	D10	0,5	10%	4/11/2025	32	15,1	30,14	286 075,43	285 402,53
30							14,98	30,21	288 246,63	
31							15,1	29,6	262 262,30	
32	3/10/2025	D11	0,4	-	4/11/2025	32	15,2	29,69	269 468,87	266 973,02
33							15,08	29,76	269 187,89	
34							15,12	29,84	278 881,87	
35	3/10/2025	D12	0,4	4%	4/11/2025	32	15,2	29,93	276 584,31	275 614,52
36							15,06	29,98	271 377,38	
37							15,06	30,03	276 966,61	
38	4/10/2025	D13	0,4	6%	5/11/2025	32	15,13	30,09	276 966,61	277 671,44
39							15,25	30,16	279 081,09	
40							15,1	30,24	282 881,09	
41	4/10/2025	D14	0,4	8%	5/11/2025	32	15,02	29,55	282 721,92	283 087,29
42							15,12	29,64	283 658,85	
43							15,2	29,72	300 678,50	
44	4/10/2025	D15	0,4	10%	5/11/2025	32	15,06	29,82	300 137,34	297 260,41
45							15,15	29,91	290 965,40	
46							15,06	30	283 090,00	
47	7/10/2025	OPT	0,4	10%	5/12/2025	28	15	30,12	280 758,93	282 314,30
48							15,2	30,27	283 093,99	

Anexo 23. *Procesamiento de datos del ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático.*

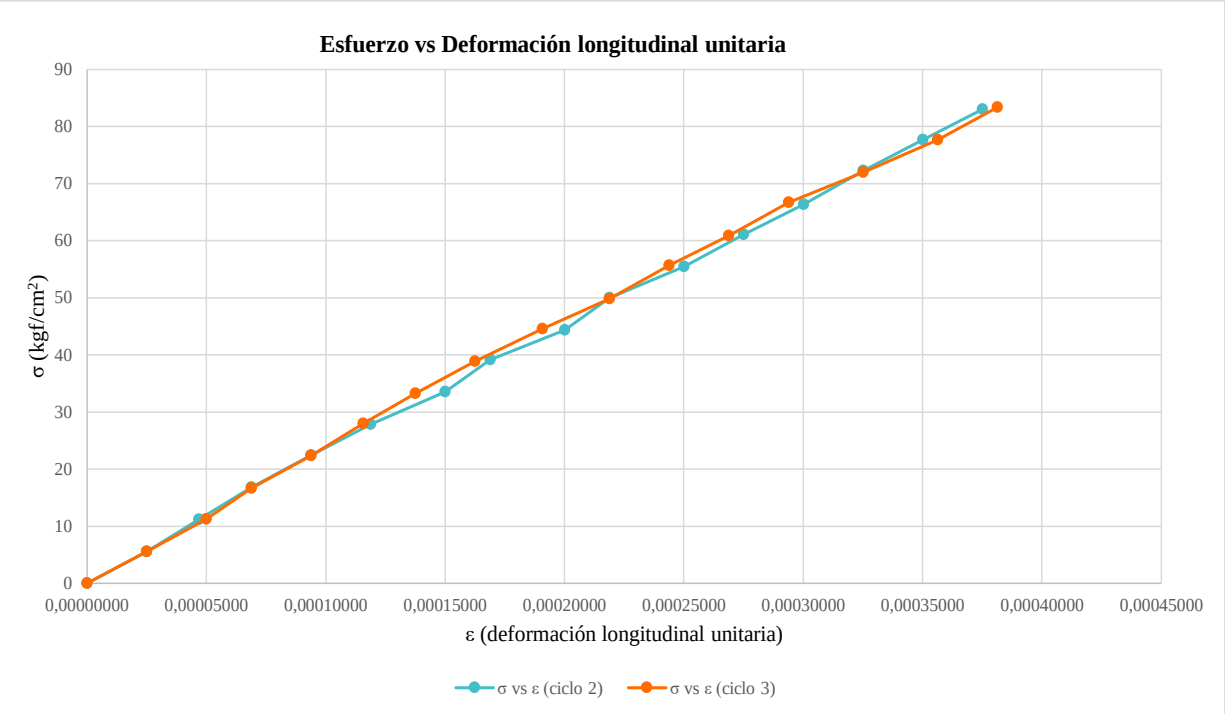
Tabla 68. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,60-1	**Resistencia máxima:**	194,84	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	35 262,37	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,18	cm
Fecha de ensayo:	29/10/2025	**Área:**	180,98	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 010	5,58	4	0,0010160	0,0005080	0,00002501
3	2 020	11,16	7,5	0,0019050	0,0009525	0,00004690
4	3 040	16,80	11	0,0027940	0,0013970	0,00006878
5	4 060	22,43	15	0,0038100	0,0019050	0,00009380
6	5 040	27,85	19	0,0048260	0,0024130	0,00011881
7	6 070	33,54	24	0,0060960	0,0030480	0,00015007
8	7 090	39,18	27	0,0068580	0,0034290	0,00016883
9	8 020	44,31	32	0,0081280	0,0040640	0,00020010
10	9 050	50,01	35	0,0088900	0,0044450	0,00021886
11	10 030	55,42	40	0,0101600	0,0050800	0,00025012
12	11 060	61,11	44	0,0111760	0,0055880	0,00027514
13	12 010	66,36	48	0,0121920	0,0060960	0,00030015
14	13 080	72,27	52	0,0132080	0,0066040	0,00032516
15	14 050	77,63	56	0,0142240	0,0071120	0,00035017
16	15 020	82,99	60	0,0152400	0,0076200	0,00037518
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 000	5,53	4	0,0010160	0,0005080	0,00002501
3	2 030	11,22	8	0,0020320	0,0010160	0,00005002
4	3 020	16,69	11	0,0027940	0,0013970	0,00006878
5	4 050	22,38	15	0,0038100	0,0019050	0,00009380
6	5 060	27,96	18,5	0,0046990	0,0023495	0,00011568
7	6 020	33,26	22	0,0055880	0,0027940	0,00013757
8	7 040	38,90	26	0,0066040	0,0033020	0,00016258
9	8 070	44,59	30,5	0,0077470	0,0038735	0,00019072
10	9 020	49,84	35	0,0088900	0,0044450	0,00021886
11	10 080	55,70	39	0,0099060	0,0049530	0,00024387
12	11 010	60,84	43	0,0109220	0,0054610	0,00026888
13	12 070	66,69	47	0,0119380	0,0059690	0,00029389
14	13 020	71,94	52	0,0132080	0,0066040	0,00032516
15	14 060	77,69	57	0,0144780	0,0072390	0,00035643
16	15 080	83,32	61	0,0154940	0,0077470	0,00038144

Gráfico 38. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000469	11,16		77,63	0,000350
0,000050	σ (0,00005)		77,936	ε 0,4σmax
0,0000688	16,80		82,99	0,000375
σ (0,00005)=	11,96	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000352
Ec1=	**218 760,53**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
σ (0,00005)			ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,53		77,69	0,000356
0,000050	σ (0,00005)		77,936	ε 0,4σmax
0,0000500	11,22		83,32	0,000381
σ (0,00005)=	11,21	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000358
Ec2=	**216 972,25**	**kgf/cm²**		

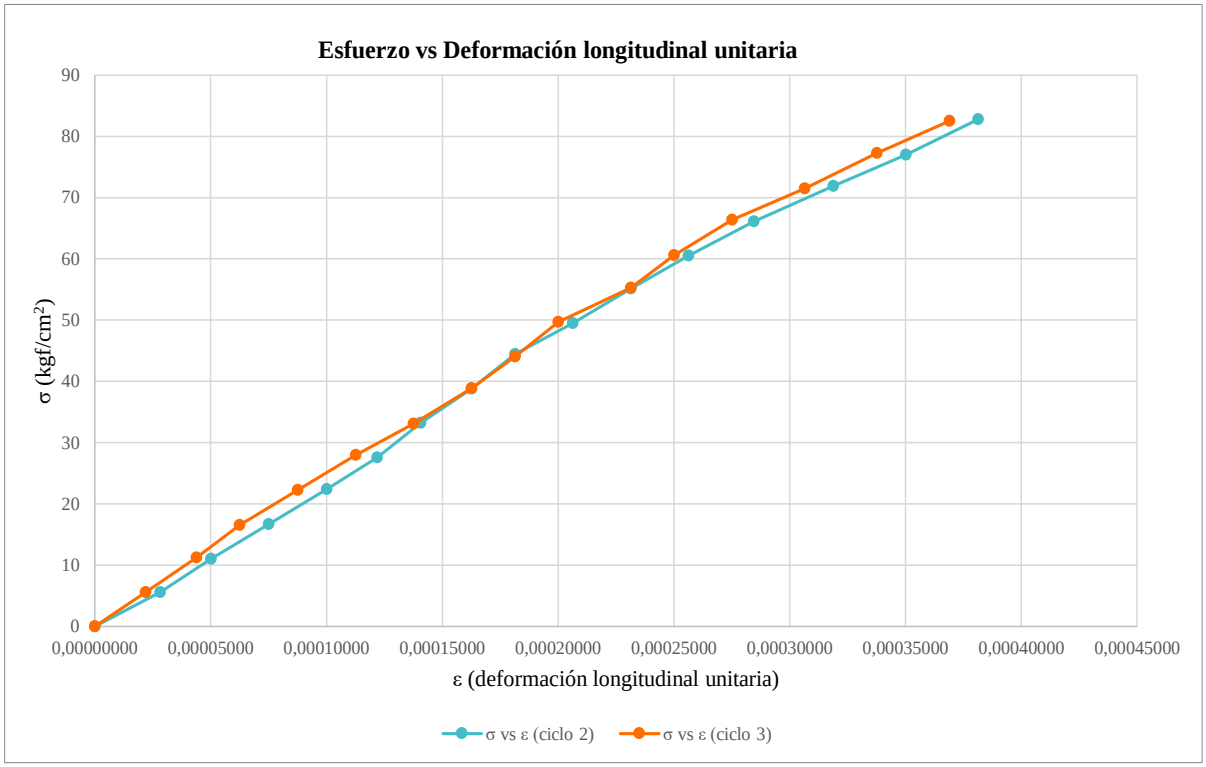
Tabla 69. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,60-2	**Resistencia máxima:**	194,84	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	35 471,75	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,23	cm
Fecha de ensayo:	29/1025	**Área:**	182,06	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (mm)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 020	5,60	4,5	0,0011430	0,0005715	0,00002814
3	2 010	11,04	8	0,0020320	0,0010160	0,00005002
4	3 030	16,64	12	0,0030480	0,0015240	0,00007504
5	4 070	22,36	16	0,0040640	0,0020320	0,00010005
6	5 020	27,57	19,5	0,0049530	0,0024765	0,00012194
7	6 040	33,18	22,5	0,0057150	0,0028575	0,00014069
8	7 060	38,78	26	0,0066040	0,0033020	0,00016258
9	8 090	44,44	29	0,0073660	0,0036830	0,00018134
10	9 010	49,49	33	0,0083820	0,0041910	0,00020635
11	10 040	55,15	37	0,0093980	0,0046990	0,00023136
12	11 020	60,53	41	0,0104140	0,0052070	0,00025638
13	12 030	66,08	45,5	0,0115570	0,0057785	0,00028452
14	13 080	71,85	51	0,0129540	0,0064770	0,00031891
15	14 010	76,95	56	0,0142240	0,0071120	0,00035017
16	15 070	82,78	61	0,0154940	0,0077470	0,00038144
Ciclo 3						
1	0	0	0	0	0	0,0000000
2	1 010	5,55	3,5	0,000889	0,0004445	0,0000219
3	2 040	11,21	7	0,001778	0,000889	0,0000438
4	3 010	16,53	10	0,00254	0,00127	0,0000625
5	4 050	22,25	14	0,003556	0,001778	0,0000875
6	5 090	27,96	18	0,004572	0,002286	0,0001126
7	6 020	33,07	22	0,005588	0,002794	0,0001376
8	7 080	38,89	26	0,006604	0,003302	0,0001626
9	8 020	44,05	29	0,007366	0,003683	0,0001813
10	9 040	49,66	32	0,008128	0,004064	0,0002001
11	10 060	55,26	37	0,009398	0,004699	0,0002314
12	11 030	60,59	40	0,01016	0,00508	0,0002501
13	12 080	66,35	44	0,011176	0,005588	0,0002751
14	13 010	71,46	49	0,012446	0,006223	0,0003064
15	14 070	77,28	54	0,013716	0,006858	0,0003377
16	15 020	82,50	59	0,014986	0,007493	0,0003689

Gráfico 39. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000281	5,60		76,95	0,000350
0,000050	σ (0,00005)		77,936	ε 0,4σmax
0,0000500	11,04		82,78	0,000381
σ (0,00005)=	11,03	kgf/cm^2	ε 0,4σmax=	0,000355
Ec1=	**219 031,06**	**kgf/cm^2**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,21		77,28	0,000338
0,000050	σ (0,00005)		77,936	ε 0,4σmax
0,0000625	16,53		82,50	0,000369
σ (0,00005)=	12,97	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000342
Ec2=	**222 797,35**	**kgf/cm^2**		

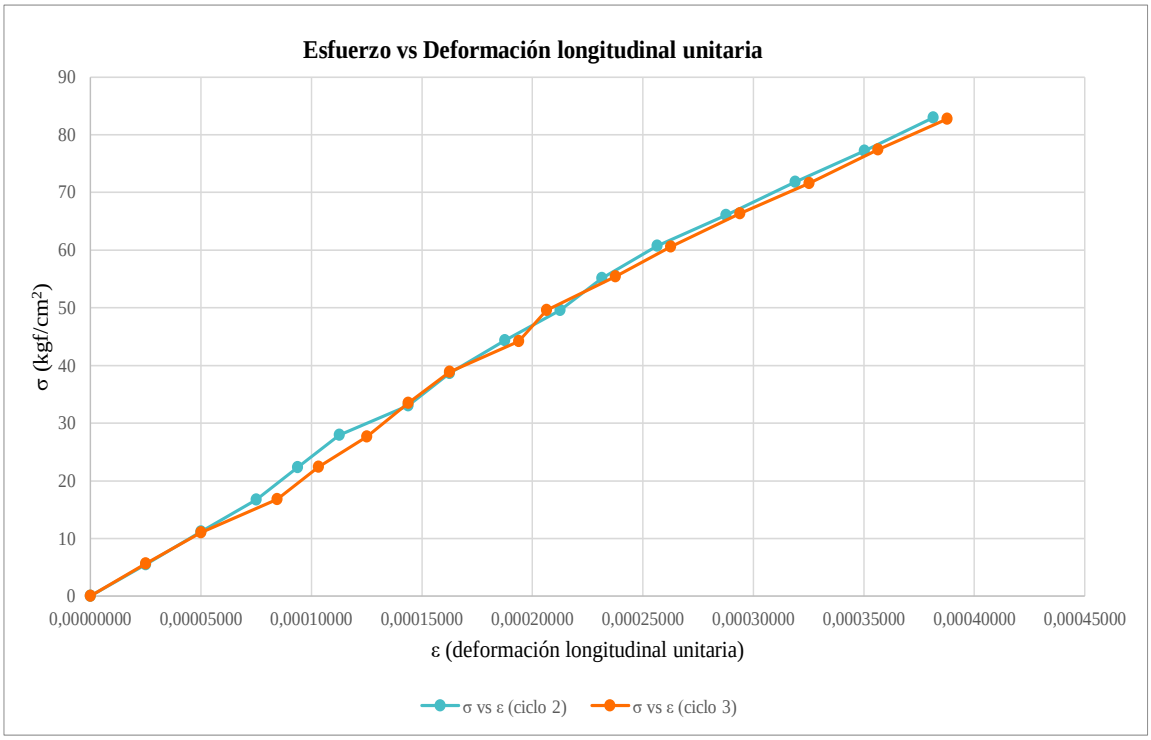
Tabla 70. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,60-3	**Resistencia máxima:**	194,84	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	35 425,17	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,215	cm
Fecha de ensayo:	29/10/2025	**Área:**	181,82	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (mm)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 000	5,50	4	0,0010160	0,0005080	0,00002501
3	2 030	11,17	8	0,0020320	0,0010160	0,00005002
4	3 040	16,72	12	0,0030480	0,0015240	0,00007504
5	4 060	22,33	15	0,0038100	0,0019050	0,00009380
6	5 080	27,94	18	0,0045720	0,0022860	0,00011256
7	6 010	33,06	23	0,0058420	0,0029210	0,00014382
8	7 030	38,67	26	0,0066040	0,0033020	0,00016258
9	8 060	44,33	30	0,0076200	0,0038100	0,00018759
10	9 020	49,61	34	0,0086360	0,0043180	0,00021260
11	10 020	55,11	37	0,0093980	0,0046990	0,00023136
12	11 040	60,72	41	0,0104140	0,0052070	0,00025638
13	12 010	66,06	46	0,0116840	0,0058420	0,00028764
14	13 050	71,78	51	0,0129540	0,0064770	0,00031891
15	14 030	77,17	56	0,0142240	0,0071120	0,00035017
16	15 080	82,94	61	0,0154940	0,0077470	0,00038144
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 020	5,61	4	0,0010160	0,0005080	0,00002501
3	2 010	11,06	8	0,0020320	0,0010160	0,00005002
4	3 050	16,78	13,5	0,0034290	0,0017145	0,00008442
5	4 070	22,39	16,5	0,0041910	0,0020955	0,00010318
6	5 030	27,67	20	0,0050800	0,0025400	0,00012506
7	6 090	33,50	23	0,0058420	0,0029210	0,00014382
8	7 070	38,89	26	0,0066040	0,0033020	0,00016258
9	8 040	44,22	31	0,0078740	0,0039370	0,00019385
10	9 020	49,61	33	0,0083820	0,0041910	0,00020635
11	10 080	55,44	38	0,0096520	0,0048260	0,00023762
12	11 010	60,56	42	0,0106680	0,0053340	0,00026263
13	12 060	66,33	47	0,0119380	0,0059690	0,00029389
14	13 020	71,61	52	0,0132080	0,0066040	0,00032516
15	14 080	77,44	57	0,0144780	0,0072390	0,00035643
16	15 040	82,72	62	0,0157480	0,0078740	0,00038769

Gráfico 40. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,50		77,17	0,000350
0,000050	σ (0,00005)		77,936	ε 0,4σmax
0,0000500	11,17		82,94	0,000381
σ (0,00005)=	11,16	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000354
	Ec1=	**219 411,90**	**kgf/cm²**	

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,61		77,44	0,000356
0,000050	σ (0,00005)		77,936	ε 0,4σmax
0,0000500	11,06		82,72	0,000388
σ (0,00005)=	11,05	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000359
	Ec2=	**216 209,42**	**kgf/cm²**	

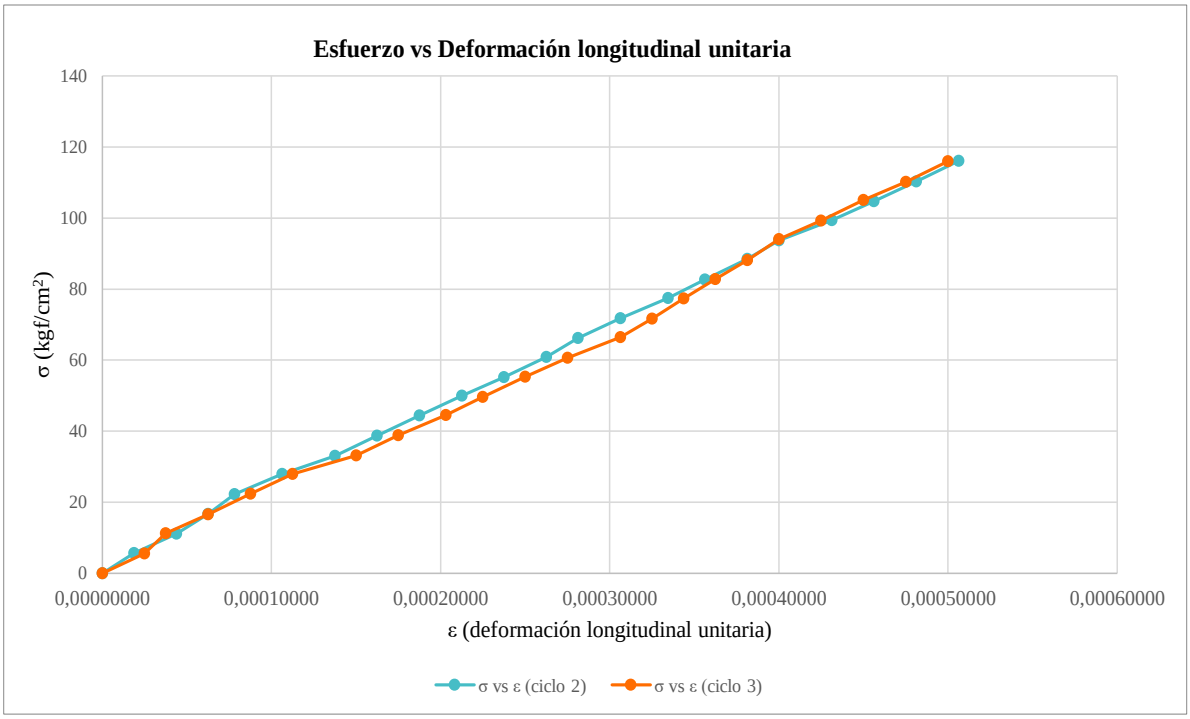
Tabla 71. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,60-1	**Resistencia máxima:**	279,56	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	50 785,26	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,21	cm
Fecha de ensayo:	29/10/2025	**Área:**	181,66	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 020	5,61	3	0,0007620	0,0003810	0,00001875
3	2 010	11,06	7	0,0017780	0,0008890	0,00004375
4	3 030	16,68	10	0,0025400	0,0012700	0,00006250
5	4 050	22,29	12,5	0,0031750	0,0015875	0,00007813
6	5 070	27,91	17	0,0043180	0,0021590	0,00010625
7	6 010	33,08	22	0,0055880	0,0027940	0,00013750
8	7 040	38,75	26	0,0066040	0,0033020	0,00016250
9	8 060	44,37	30	0,0076200	0,0038100	0,00018750
10	9 080	49,98	34	0,0086360	0,0043180	0,00021250
11	10 030	55,21	38	0,0096520	0,0048260	0,00023750
12	11 060	60,88	42	0,0106680	0,0053340	0,00026250
13	12 020	66,17	45	0,0114300	0,0057150	0,00028125
14	13 040	71,78	49	0,0124460	0,0062230	0,00030625
15	14 080	77,51	53,5	0,0135890	0,0067945	0,00033438
16	15 010	82,63	57	0,0144780	0,0072390	0,00035625
17	16 070	88,46	61	0,0154940	0,0077470	0,00038125
18	17 030	93,75	64	0,0162560	0,0081280	0,00040000
19	18 050	99,36	69	0,0175260	0,0087630	0,00043125
20	19 020	104,70	73	0,0185420	0,0092710	0,00045625
21	20 040	110,32	77	0,0195580	0,0097790	0,00048125
22	21 080	116,04	81	0,0205740	0,0102870	0,00050625
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 000	5,50	4	0,0010160	0,0005080	0,00002500
3	2 040	11,23	6	0,0015240	0,0007620	0,00003750
4	3 020	16,62	10	0,0025400	0,0012700	0,00006250
5	4 060	22,35	14	0,0035560	0,0017780	0,00008750
6	5 080	27,96	18	0,0045720	0,0022860	0,00011250
7	6 020	33,14	24	0,0060960	0,0030480	0,00015000
8	7 060	38,86	28	0,0071120	0,0035560	0,00017500
9	8 080	44,48	32,5	0,0082550	0,0041275	0,00020313
10	9 020	49,65	36	0,0091440	0,0045720	0,00022500
11	10 050	55,32	40	0,0101600	0,0050800	0,00025000
12	11 020	60,66	44	0,0111760	0,0055880	0,00027500
13	12 080	66,50	49	0,0124460	0,0062230	0,00030625
14	13 010	71,62	52	0,0132080	0,0066040	0,00032500
15	14 060	77,40	55	0,0139700	0,0069850	0,00034375
16	15 040	82,79	58	0,0147320	0,0073660	0,00036250
17	16 010	88,13	61	0,0154940	0,0077470	0,00038125
18	17 080	94,02	64	0,0162560	0,0081280	0,00040000
19	18 030	99,25	68	0,0172720	0,0086360	0,00042500
20	19 090	105,09	72	0,0182880	0,0091440	0,00045000
21	20 020	110,21	76	0,0193040	0,0096520	0,00047500
22	21 060	115,93	80	0,0203200	0,0101600	0,00050000

Gráfico 41. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,06		110,32	0,000481
0,000050	σ (0,00005)		111,824	ε 0,4σmax
0,0000625	16,68		116,04	0,000506
σ (0,00005)=	12,94	kgf/cm^2	ε 0,4σmax=	0,000488
Ec1=	**225 854,34**	**kgf/cm^2**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,23		110,21	0,000475
0,000050	σ (0,00005)		111,824	ε 0,4σmax
0,0000625	16,62		115,93	0,000500
σ (0,00005)=	13,93	kgf/cm^2	ε 0,4σmax=	0,000482
Ec2=	**226 576,79**	**kgf/cm^2**		

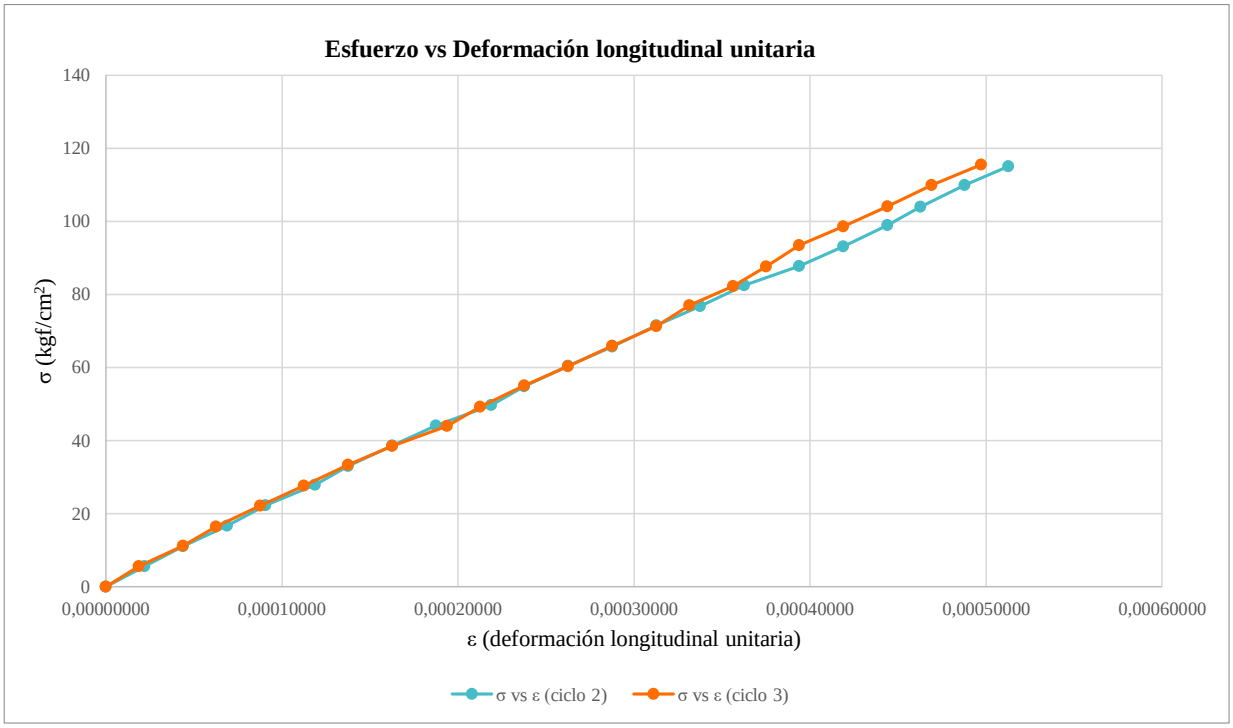
Tabla 72. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,60-2	**Resistencia máxima:**	279,56	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	51 076,19	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,252	cm
Fecha de ensayo:	29/10/2025	**Área:**	182,70	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 030	5,64	4	0,0008890	0,0004445	0,00002189
3	2 030	11,11	7	0,0017780	0,0008890	0,00004377
4	3 050	16,69	11	0,0027940	0,0013970	0,00006878
5	4 070	22,28	15	0,0036830	0,0018415	0,00009067
6	5 090	27,86	19	0,0048260	0,0024130	0,00011881
7	6 030	33,00	22	0,0055880	0,0027940	0,00013757
8	7 050	38,59	26	0,0066040	0,0033020	0,00016258
9	8 070	44,17	30	0,0076200	0,0038100	0,00018759
10	9 090	49,75	35	0,0088900	0,0044450	0,00021886
11	10 020	54,84	38	0,0096520	0,0048260	0,00023762
12	11 040	60,43	42	0,0106680	0,0053340	0,00026263
13	12 010	65,74	46	0,0116840	0,0058420	0,00028764
14	13 080	71,59	50	0,0127000	0,0063500	0,00031265
15	14 030	76,79	54	0,0137160	0,0068580	0,00033767
16	15 070	82,48	58	0,0147320	0,0073660	0,00036268
17	16 040	87,79	63	0,0160020	0,0080010	0,00039394
18	17 020	93,16	67	0,0170180	0,0085090	0,00041896
19	18 090	99,01	71	0,0180340	0,0090170	0,00044397
20	19 010	104,05	74	0,0187960	0,0093980	0,00046273
21	20 080	109,91	78	0,0198120	0,0099060	0,00048774
22	21 030	115,11	82	0,0208280	0,0104140	0,00051275
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 020	5,58	3	0,0007620	0,0003810	0,00001876
3	2 040	11,17	7	0,0017780	0,0008890	0,00004377
4	3 010	16,47	10	0,0025400	0,0012700	0,00006253
5	4 050	22,17	14	0,0035560	0,0017780	0,00008754
6	5 060	27,70	18	0,0045720	0,0022860	0,00011256
7	6 090	33,33	22	0,0055880	0,0027940	0,00013757
8	7 030	38,48	26	0,0066040	0,0033020	0,00016258
9	8 050	44,06	31	0,0078740	0,0039370	0,00019385
10	9 010	49,32	34	0,0086360	0,0043180	0,00021260
11	10 060	55,06	38	0,0096520	0,0048260	0,00023762
12	11 030	60,37	42	0,0106680	0,0053340	0,00026263
13	12 050	65,95	46	0,0116840	0,0058420	0,00028764
14	13 020	71,26	50	0,0127000	0,0063500	0,00031265
15	14 070	77,01	53	0,0134620	0,0067310	0,00033141
16	15 040	82,32	57	0,0144780	0,0072390	0,00035643
17	16 010	87,63	60	0,0152400	0,0076200	0,00037518
18	17 090	93,54	63	0,0160020	0,0080010	0,00039394
19	18 030	98,69	67	0,0170180	0,0085090	0,00041896
20	19 030	104,16	71	0,0180340	0,0090170	0,00044397
21	20 090	109,96	75	0,0190500	0,0095250	0,00046898
22	21 100	115,49	80	0,0201930	0,0100965	0,00049712

Gráfico 42. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,11		109,91	0,000488
0,000050	σ (0,00005)		111,824	ε 0,4σmax
0,0000688	16,69		115,11	0,000513
σ (0,00005)=	12,50	kgf/cm^2	ε 0,4σmax=	0,000497
	Ec1=	**222 214,73**	**kgf/cm^2**	

Ciclo 3				
σ (0,00005)			ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,17		109,96	0,000469
0,000050	σ (0,00005)		111,824	ε 0,4σmax
0,0000625	16,47		115,49	0,000497
σ (0,00005)=	12,93	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000478
	Ec2=	**230 812,69**	**kgf/cm²**	

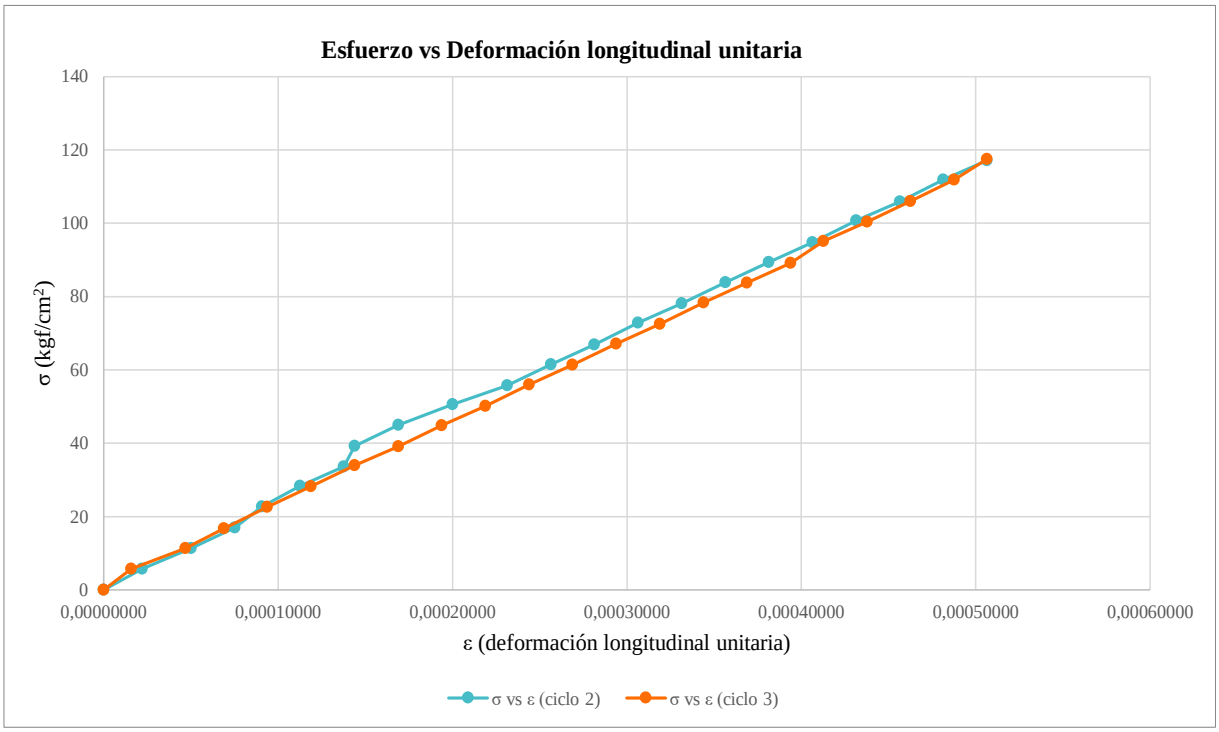
Tabla 73. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,60-3	**Resistencia máxima:**	279,56	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	50 209,21	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,122	cm
Fecha de ensayo:	29/10/2025	**Área:**	179,60	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 030	5,73	4	0,0008890	0,0004445	0,00002189
3	2 030	11,30	8	0,0020320	0,0010160	0,00005002
4	3 050	16,98	12	0,0030480	0,0015240	0,00007504
5	4 070	22,66	15	0,0036830	0,0018415	0,00009067
6	5 090	28,34	18	0,0045720	0,0022860	0,00011256
7	6 030	33,57	22	0,0055880	0,0027940	0,00013757
8	7 050	39,25	23	0,0058420	0,0029210	0,00014382
9	8 070	44,93	27	0,0068580	0,0034290	0,00016883
10	9 090	50,61	32	0,0081280	0,0040640	0,00020010
11	10 020	55,79	37	0,0093980	0,0046990	0,00023136
12	11 040	61,47	41	0,0104140	0,0052070	0,00025638
13	12 010	66,87	45	0,0114300	0,0057150	0,00028139
14	13 080	72,83	49	0,0124460	0,0062230	0,00030640
15	14 030	78,12	53	0,0134620	0,0067310	0,00033141
16	15 070	83,91	57	0,0144780	0,0072390	0,00035643
17	16 040	89,31	61	0,0154940	0,0077470	0,00038144
18	17 020	94,77	65	0,0165100	0,0082550	0,00040645
19	18 090	100,72	69	0,0175260	0,0087630	0,00043146
20	19 010	105,85	73	0,0185420	0,0092710	0,00045647
21	20 080	111,80	77	0,0195580	0,0097790	0,00048149
22	21 030	117,09	81	0,0205740	0,0102870	0,00050650
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 020	5,68	2,5	0,0006350	0,0003175	0,00001563
3	2 040	11,36	7,5	0,0019050	0,0009525	0,00004690
4	3 010	16,76	11	0,0027940	0,0013970	0,00006878
5	4 050	22,55	15	0,0038100	0,0019050	0,00009380
6	5 060	28,17	19	0,0048260	0,0024130	0,00011881
7	6 090	33,91	23	0,0058420	0,0029210	0,00014382
8	7 030	39,14	27	0,0068580	0,0034290	0,00016883
9	8 050	44,82	31	0,0078740	0,0039370	0,00019385
10	9 010	50,17	35	0,0088900	0,0044450	0,00021886
11	10 060	56,01	39	0,0099060	0,0049530	0,00024387
12	11 030	61,41	43	0,0109220	0,0054610	0,00026888
13	12 050	67,09	47	0,0119380	0,0059690	0,00029389
14	13 020	72,49	51	0,0129540	0,0064770	0,00031891
15	14 070	78,34	55	0,0139700	0,0069850	0,00034392
16	15 040	83,74	59	0,0149860	0,0074930	0,00036893
17	16 010	89,14	63	0,0160020	0,0080010	0,00039394
18	17 090	95,16	66	0,0167640	0,0083820	0,00041270
19	18 030	100,39	70	0,0177800	0,0088900	0,00043772
20	19 030	105,96	74	0,0187960	0,0093980	0,00046273
21	20 090	111,86	78	0,0198120	0,0099060	0,00048774
22	21 100	117,48	81	0,0205740	0,0102870	0,00050650

Gráfico 43. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000219	5,73		111,80	0,000481
0,000050	σ (0,00005)		111,824	ε 0,4σmax
0,0000500	11,30		117,09	0,000506
σ (0,00005)=	11,30	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000482
Ec1=	**232 923,47**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000469	11,36		105,96	0,000463
0,000050	σ (0,00005)		111,824	ε 0,4σmax
0,0000688	16,76		111,86	0,000488
σ (0,00005)=	12,12	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000488
Ec2=	**227 838,33**	**kgf/cm²**		

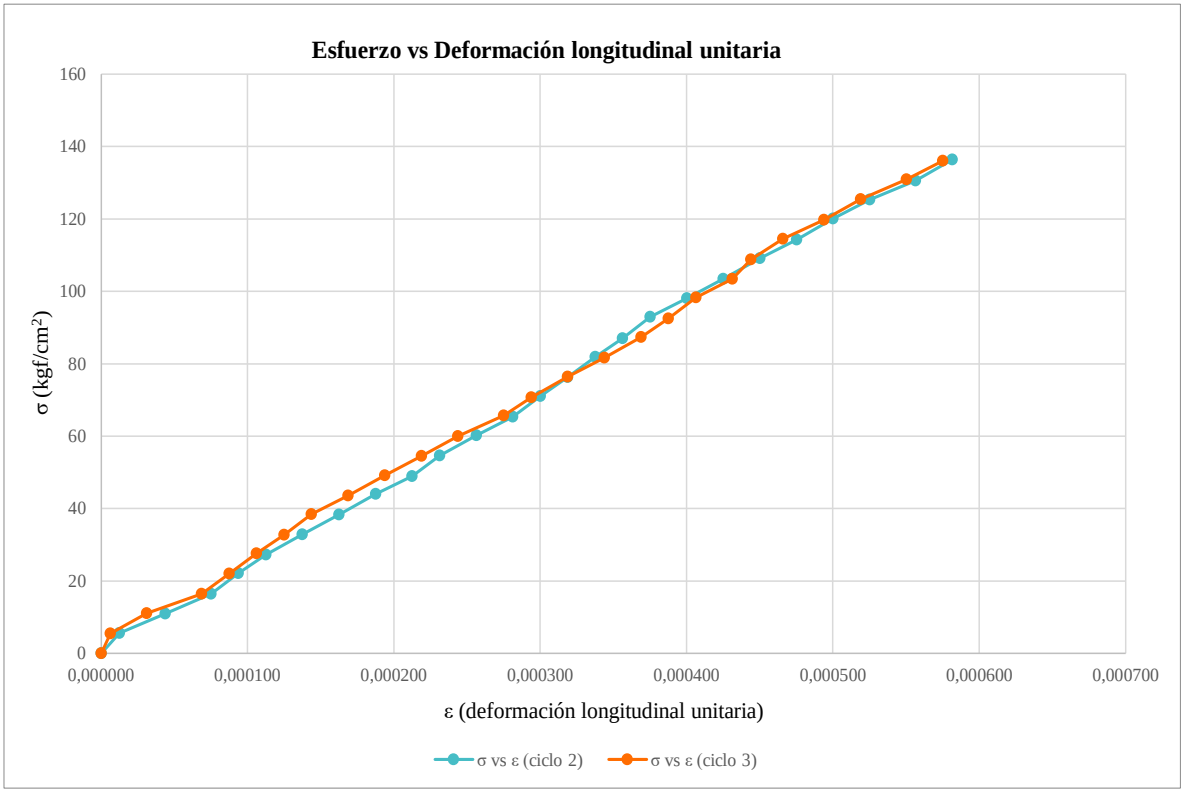
Tabla 74. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,60-1	**Resistencia máxima:**	330,47	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	60 789,96	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,30	cm
Fecha de ensayo:	29/10/2025	**Área:**	183,95	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,54	2	0,000508	0,000254	0,000013
3	2 010	10,93	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 030	16,47	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	4 070	22,13	15	0,003810	0,001905	0,000094
6	5 010	27,24	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	6 040	32,84	22	0,005588	0,002794	0,000138
8	7 060	38,38	26	0,006604	0,003302	0,000163
9	8 090	43,98	30	0,007620	0,003810	0,000188
10	9 010	48,98	34	0,008636	0,004318	0,000213
11	10 040	54,58	37	0,009398	0,004699	0,000231
12	11 080	60,23	41	0,010414	0,005207	0,000256
13	12 020	65,34	45	0,011430	0,005715	0,000281
14	13 060	71,00	48	0,012192	0,006096	0,000300
15	14 030	76,27	51	0,012954	0,006477	0,000319
16	15 070	81,92	54	0,013716	0,006858	0,000338
17	16 010	87,03	57	0,014478	0,007239	0,000356
18	17 090	92,91	60	0,015240	0,007620	0,000375
19	18 040	98,07	64	0,016256	0,008128	0,000400
20	19 020	103,40	68	0,017272	0,008636	0,000425
21	20 080	109,16	72	0,018288	0,009144	0,000450
22	21 030	114,32	76	0,019304	0,009652	0,000475
23	22 090	120,09	80	0,020320	0,010160	0,000500
24	23 050	125,31	84	0,021336	0,010668	0,000525
25	24 010	130,52	89	0,022606	0,011303	0,000557
26	25 080	136,34	93	0,023622	0,011811	0,000582
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 000	5,44	1	0,000254	0,000127	0,000006
3	2 040	11,09	5	0,001270	0,000635	0,000031
4	3 020	16,42	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 060	22,07	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 080	27,62	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 020	32,73	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 080	38,49	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 020	43,60	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 040	49,14	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 020	54,47	35	0,008890	0,004445	0,000219
12	11 040	60,02	39	0,009906	0,004953	0,000244
13	12 080	65,67	44	0,011176	0,005588	0,000275
14	13 010	70,73	47	0,011938	0,005969	0,000294
15	14 050	76,38	51	0,012954	0,006477	0,000319
16	15 030	81,71	55	0,013970	0,006985	0,000344
17	16 070	87,36	59	0,014986	0,007493	0,000369
18	17 020	92,53	62	0,015748	0,007874	0,000388
19	18 090	98,34	65	0,016510	0,008255	0,000406
20	19 030	103,45	69	0,017526	0,008763	0,000431
21	20 010	108,78	71	0,018034	0,009017	0,000444
22	21 060	114,49	74,5	0,018923	0,009462	0,000466
23	22 030	119,76	79	0,020066	0,010033	0,000494
24	23 070	125,41	83	0,021082	0,010541	0,000519
25	24 090	130,96	88	0,022352	0,011176	0,000550
26	25 020	136,02	92	0,023368	0,011684	0,000575

Gráfico 44. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	10,93		130,52	0,000557
0,000050	σ (0,00005)		132,188	ε 0,4σmax
0,0000750	16,47		136,34	0,000582
σ (0,00005)=	12,03	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000564
Ec1=	**233 914,69**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	11,09		130,96	0,000550
0,000050	σ (0,00005)		132,188	ε 0,4σmax
0,0000688	16,42		136,02	0,000575
σ (0,00005)=	13,75	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000556
Ec2=	**233 905,57**	**kgf/cm²**		

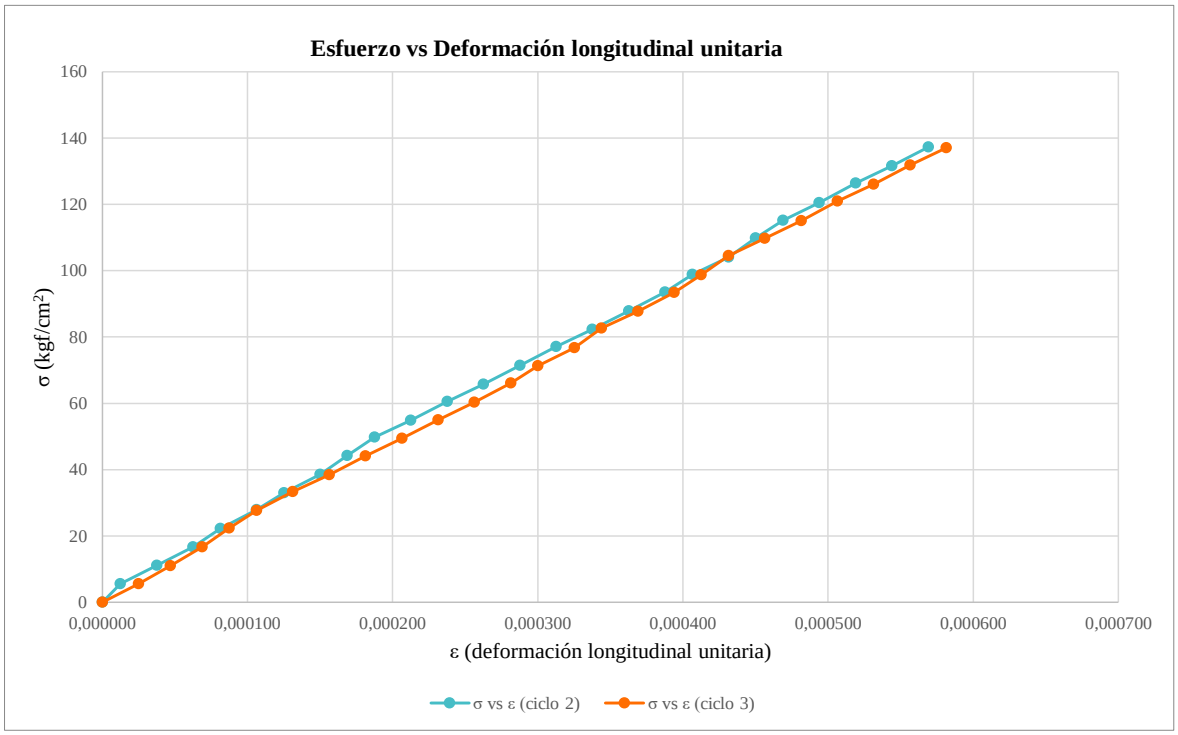
Tabla 75. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,60-2	**Resistencia máxima:**	330,47	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	60 349,85	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,25	cm
Fecha de ensayo:	29/10/2025	**Área:**	182,62	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,53	2	0,000508	0,000254	0,000013
3	2 030	11,12	6	0,001524	0,000762	0,000038
4	3 050	16,70	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 070	22,29	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 090	27,87	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 030	33,02	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 050	38,61	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	8 070	44,19	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 090	49,78	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	10 020	54,87	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 060	60,56	38	0,009652	0,004826	0,000238
13	12 010	65,77	42	0,010668	0,005334	0,000263
14	13 040	71,41	46	0,011684	0,005842	0,000288
15	14 090	77,16	50	0,012700	0,006350	0,000313
16	15 020	82,25	54	0,013716	0,006858	0,000338
17	16 040	87,83	58	0,014732	0,007366	0,000363
18	17 080	93,53	62	0,015748	0,007874	0,000388
19	18 050	98,84	65	0,016510	0,008255	0,000406
20	19 010	104,10	69	0,017526	0,008763	0,000431
21	20 070	109,90	72	0,018288	0,009144	0,000450
22	21 040	115,21	75	0,019050	0,009525	0,000469
23	22 010	120,52	79	0,020066	0,010033	0,000494
24	23 090	126,44	83	0,021082	0,010541	0,000519
25	24 030	131,59	87	0,022098	0,011049	0,000544
26	25 070	137,28	91	0,023114	0,011557	0,000569
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,59	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 010	11,01	7,5	0,001905	0,000953	0,000047
4	3 040	16,65	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 080	22,34	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 060	27,71	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 090	33,35	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	7 010	38,39	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	8 050	44,08	29	0,007366	0,003683	0,000181
10	9 030	49,45	33	0,008382	0,004191	0,000206
11	10 050	55,03	37	0,009398	0,004699	0,000231
12	11 020	60,34	41	0,010414	0,005207	0,000256
13	12 070	66,09	45	0,011430	0,005715	0,000281
14	13 030	71,35	48	0,012192	0,006096	0,000300
15	14 010	76,72	52	0,013208	0,006604	0,000325
16	15 090	82,63	55	0,013970	0,006985	0,000344
17	16 020	87,72	59	0,014986	0,007493	0,000369
18	17 060	93,42	63	0,016002	0,008001	0,000394
19	18 030	98,73	66	0,016764	0,008382	0,000413
20	19 080	104,48	69	0,017526	0,008763	0,000431
21	20 040	109,74	73	0,018542	0,009271	0,000456
22	21 010	115,05	77	0,019558	0,009779	0,000481
23	22 080	120,91	81	0,020574	0,010287	0,000506
24	23 020	126,06	85	0,021590	0,010795	0,000532
25	24 070	131,81	89	0,022606	0,011303	0,000557
26	25 030	137,06	93	0,023622	0,011811	0,000582

Gráfico 45. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax		
ε	σ		σ	ε	
0,0000125	5,53		131,59	0,000544	
0,000050	σ (0,00005)		132,188	ε 0,4σmax	
0,0000375	11,12		137,28	0,000569	
σ (0,00005)=	13,90	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000547	
Ec1=	**238 159,46**	**kgf/cm²**			
Ciclo 3					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax		
ε	σ		σ	ε	
0,0000469	11,01		131,81	0,000557	
0,000050	σ (0,00005)		132,188	ε 0,4σmax	
0,0000688	16,65		137,06	0,000582	
σ (0,00005)=	11,81	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000558	
Ec2=	**236 811,18**	**kgf/cm²**			

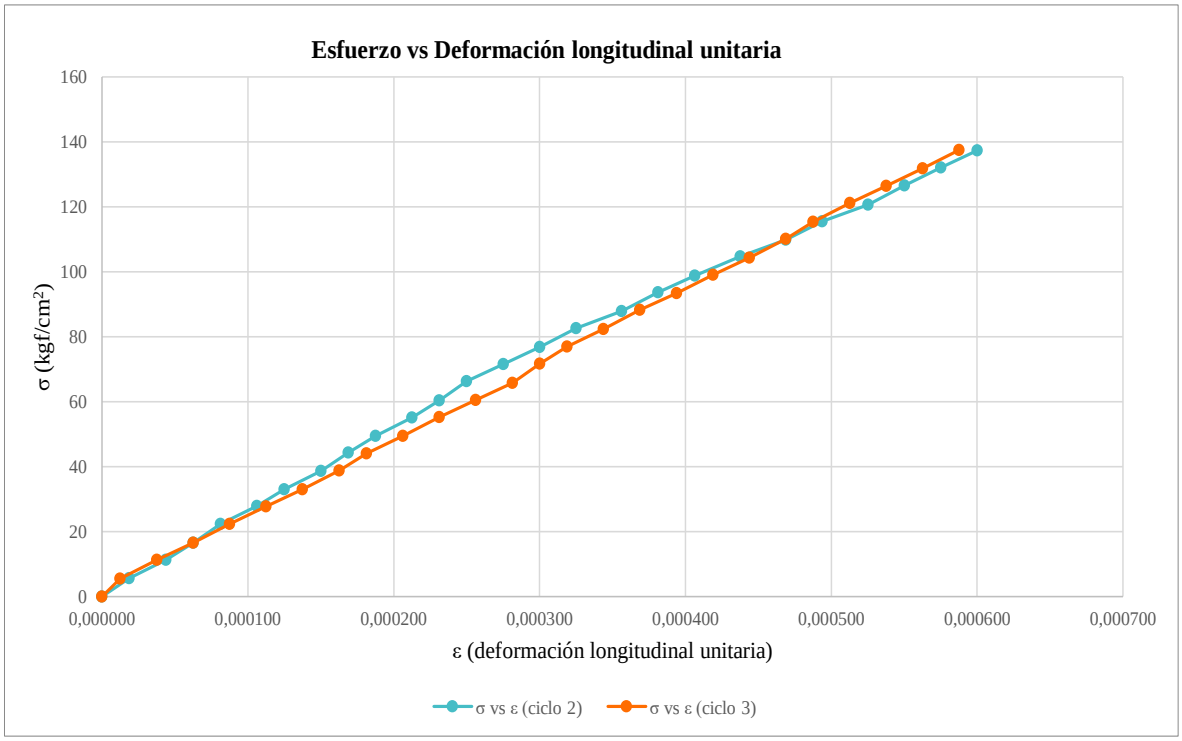
Tabla 76. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,60-3	**Resistencia máxima:**	330,47	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	60 243,03	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	29/09/2025	**Diámetro:**	15,24	cm
Fecha de ensayo:	29/10/2025	**Área:**	182,30	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,65	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 070	11,36	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 020	16,57	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 080	22,38	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 090	27,92	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 030	33,08	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 070	38,78	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	8 090	44,38	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 020	49,48	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	10 060	55,19	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 020	60,45	37	0,009398	0,004699	0,000231
13	12 090	66,32	40	0,010160	0,005080	0,000250
14	13 050	71,59	44	0,011176	0,005588	0,000275
15	14 020	76,91	48	0,012192	0,006096	0,000300
16	15 070	82,67	52	0,013208	0,006604	0,000325
17	16 040	87,99	57	0,014478	0,007239	0,000356
18	17 080	93,69	61	0,015494	0,007747	0,000381
19	18 010	98,80	65	0,016510	0,008255	0,000406
20	19 090	104,72	70	0,017780	0,008890	0,000438
21	20 030	109,88	75	0,019050	0,009525	0,000469
22	21 060	115,53	79	0,020066	0,010033	0,000494
23	22 010	120,74	84	0,021336	0,010668	0,000525
24	23 070	126,55	88	0,022352	0,011176	0,000550
25	24 090	132,15	92	0,023368	0,011684	0,000575
26	25 040	137,36	96	0,024384	0,012192	0,000600
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,54	2	0,000508	0,000254	0,000013
3	2 060	11,30	6	0,001524	0,000762	0,000038
4	3 040	16,68	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 090	22,44	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 060	27,76	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	6 020	33,02	22	0,005588	0,002794	0,000138
8	7 080	38,84	26	0,006604	0,003302	0,000163
9	8 040	44,10	29	0,007366	0,003683	0,000181
10	9 030	49,54	33	0,008382	0,004191	0,000206
11	10 070	55,24	37	0,009398	0,004699	0,000231
12	11 030	60,51	41	0,010414	0,005207	0,000256
13	12 010	65,88	45	0,011430	0,005715	0,000281
14	13 080	71,75	48	0,012192	0,006096	0,000300
15	14 050	77,07	51	0,012954	0,006477	0,000319
16	15 020	82,39	55	0,013970	0,006985	0,000344
17	16 090	88,26	59	0,014986	0,007493	0,000369
18	17 040	93,47	63	0,016002	0,008001	0,000394
19	18 070	99,13	67	0,017018	0,008509	0,000419
20	19 020	104,34	71	0,018034	0,009017	0,000444
21	20 080	110,15	75	0,019050	0,009525	0,000469
22	21 030	115,36	78	0,019812	0,009906	0,000488
23	22 090	121,18	82	0,020828	0,010414	0,000513
24	23 060	126,50	86	0,021844	0,010922	0,000538
25	24 030	131,82	90	0,022860	0,011430	0,000563
26	25 070	137,52	94	0,023876	0,011938	0,000588

Gráfico 46. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)				Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ			σ	ε
0,0000438	11,36			132,15	0,000575
0,000050	σ (0,00005)			132,188	ε 0,4σmax
0,0000625	16,57			137,36	0,000600
σ (0,00005)=	13,09	kgf/cm²		ε 0,4σmax=	0,000575
Ec1=	**226 657,69**	**kgf/cm²**			

Ciclo 3					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)				Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ			σ	ε
0,0000375	11,30			131,82	0,000563
0,000050	σ (0,00005)			132,188	ε 0,4σmax
0,0000625	16,68			137,52	0,000588
σ (0,00005)=	13,98	kgf/cm²		ε 0,4σmax=	0,000564
Ec2=	**229 794,86**	**kgf/cm²**			

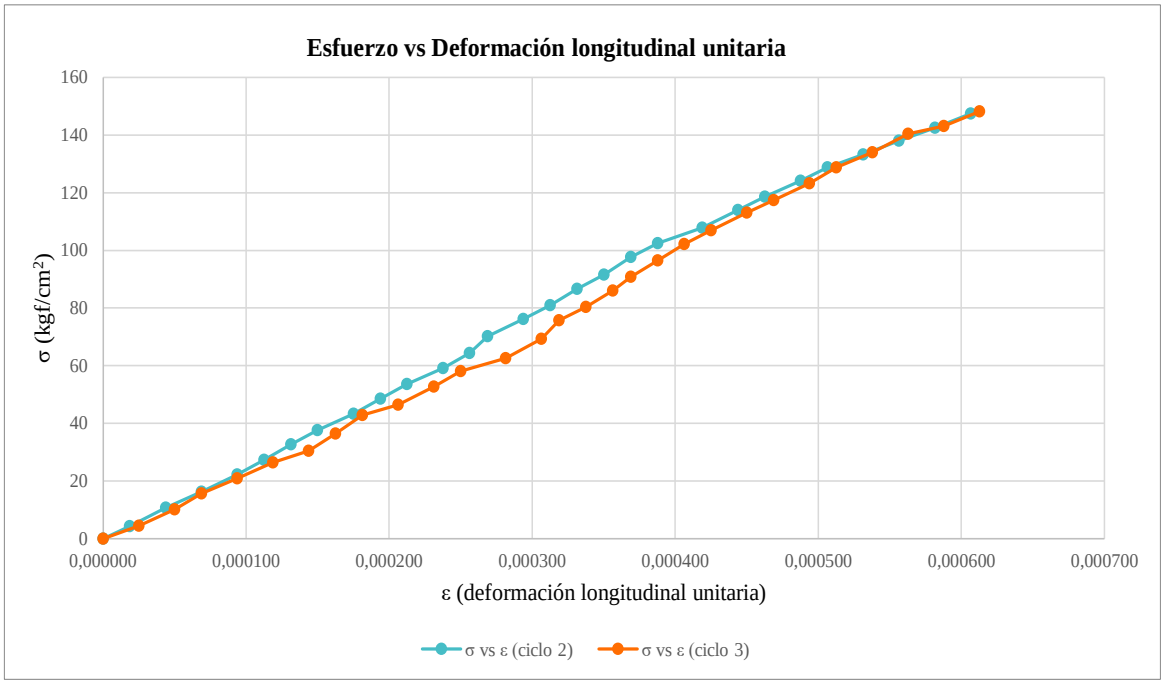
Tabla 77. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,60-1	**Resistencia máxima:**	365,78	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	66 767,44	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,245	cm
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	182,53	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	790	4,33	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	1 950	10,68	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	2 950	16,16	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 050	22,19	15	0,003810	0,001905	0,000094
6	4 970	27,23	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	5 950	32,60	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	6 850	37,53	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	7 910	43,33	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	8 850	48,48	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	9 780	53,58	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	10 800	59,17	38	0,009652	0,004826	0,000238
13	11 760	64,43	41	0,010414	0,005207	0,000256
14	12 800	70,12	43	0,010922	0,005461	0,000269
15	13 910	76,20	47	0,011938	0,005969	0,000294
16	14 770	80,92	50	0,012700	0,006350	0,000313
17	15 800	86,56	53	0,013462	0,006731	0,000331
18	16 710	91,54	56	0,014224	0,007112	0,000350
19	17 820	97,63	59	0,014986	0,007493	0,000369
20	18 700	102,45	62	0,015748	0,007874	0,000388
21	19 680	107,82	67	0,017018	0,008509	0,000419
22	20 800	113,95	71	0,018034	0,009017	0,000444
23	21 650	118,61	74	0,018796	0,009398	0,000463
24	22 650	124,09	78	0,019812	0,009906	0,000488
25	23 510	128,80	81	0,020574	0,010287	0,000506
26	24 330	133,29	85	0,021590	0,010795	0,000532
27	25 200	138,06	89	0,022606	0,011303	0,000557
28	26 030	142,60	93	0,023622	0,011811	0,000582
29	26 920	147,48	97	0,024638	0,012319	0,000607
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	810	4,44	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	1 830	10,03	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	2 840	15,56	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	3 820	20,93	15	0,003810	0,001905	0,000094
6	4 820	26,41	19	0,004826	0,002413	0,000119
7	5 550	30,41	23	0,005842	0,002921	0,000144
8	6 650	36,43	26	0,006604	0,003302	0,000163
9	7 820	42,84	29	0,007366	0,003683	0,000181
10	8 460	46,35	33	0,008382	0,004191	0,000206
11	9 620	52,70	37	0,009398	0,004699	0,000231
12	10 610	58,13	40	0,010160	0,005080	0,000250
13	11 430	62,62	45	0,011430	0,005715	0,000281
14	12 650	69,30	49	0,012446	0,006223	0,000306
15	13 810	75,66	51	0,012954	0,006477	0,000319
16	14 660	80,31	54	0,013716	0,006858	0,000338
17	15 710	86,07	57	0,014478	0,007239	0,000356
18	16 580	90,83	59	0,014986	0,007493	0,000369
19	17 620	96,53	62	0,015748	0,007874	0,000388
20	18 650	102,17	65	0,016510	0,008255	0,000406
21	19 520	106,94	68	0,017272	0,008636	0,000425
22	20 630	113,02	72	0,018288	0,009144	0,000450
23	21 430	117,40	75	0,019050	0,009525	0,000469
24	22 510	123,32	79	0,020066	0,010033	0,000494
25	23 510	128,80	82	0,020828	0,010414	0,000513
26	24 470	134,06	86	0,021844	0,010922	0,000538
27	25 630	140,41	90	0,022860	0,011430	0,000563
28	26 120	143,10	94	0,023876	0,011938	0,000588
29	27 050	148,19	98	0,024892	0,012446	0,000613

Gráfico 47. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	10,68		142,60	0,000582
0,000050	σ (0,00005)		146,312	ε 0,4σmax
0,0000688	16,16		147,48	0,000607
σ (0,00005)=	12,05	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000601
Ec1=	**243 868,90**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	4,44		143,10	0,000588
0,000050	σ (0,00005)		146,312	ε 0,4σmax
0,0000500	10,03		148,19	0,000613
σ (0,00005)=	10,02	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000604
Ec2=	**246 202,90**	**kgf/cm²**		

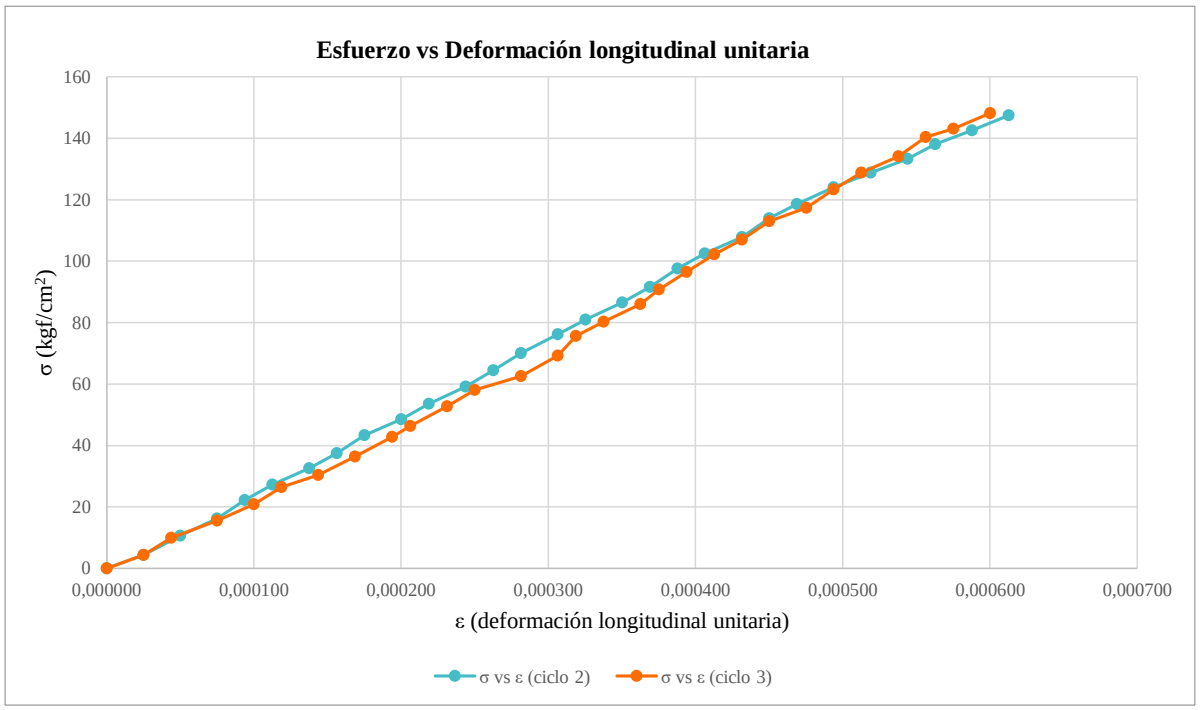
Tabla 78. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,60-2	**Resistencia máxima:**	365,78	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	66 767,44	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,245	cm
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	182,53	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	790	4,33	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	1 950	10,68	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	2 950	16,16	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	4 050	22,19	15	0,003810	0,001905	0,000094
6	4 970	27,23	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	5 950	32,60	22	0,005588	0,002794	0,000138
8	6 850	37,53	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	7 910	43,33	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	8 850	48,48	32	0,008128	0,004064	0,000200
11	9 780	53,58	35	0,008890	0,004445	0,000219
12	10 800	59,17	39	0,009906	0,004953	0,000244
13	11 760	64,43	42	0,010668	0,005334	0,000263
14	12 800	70,12	45	0,011430	0,005715	0,000281
15	13 910	76,20	49	0,012446	0,006223	0,000306
16	14 770	80,92	52	0,013208	0,006604	0,000325
17	15 800	86,56	56	0,014224	0,007112	0,000350
18	16 710	91,54	59	0,014986	0,007493	0,000369
19	17 820	97,63	62	0,015748	0,007874	0,000388
20	18 700	102,45	65	0,016510	0,008255	0,000406
21	19 680	107,82	69	0,017526	0,008763	0,000431
22	20 800	113,95	72	0,018288	0,009144	0,000450
23	21 650	118,61	75	0,019050	0,009525	0,000469
24	22 650	124,09	79	0,020066	0,010033	0,000494
25	23 510	128,80	83	0,021082	0,010541	0,000519
26	24 330	133,29	87	0,022098	0,011049	0,000544
27	25 200	138,06	90	0,022860	0,011430	0,000563
28	26 030	142,60	94	0,023876	0,011938	0,000588
29	26 920	147,48	98	0,024892	0,012446	0,000613
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	810	4,44	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	1 830	10,03	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	2 840	15,56	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	3 820	20,93	16	0,004064	0,002032	0,000100
6	4 820	26,41	19	0,004826	0,002413	0,000119
7	5 550	30,41	23	0,005842	0,002921	0,000144
8	6 650	36,43	27	0,006858	0,003429	0,000169
9	7 820	42,84	31	0,007874	0,003937	0,000194
10	8 460	46,35	33	0,008382	0,004191	0,000206
11	9 620	52,70	37	0,009398	0,004699	0,000231
12	10 610	58,13	40	0,010160	0,005080	0,000250
13	11 430	62,62	45	0,011430	0,005715	0,000281
14	12 650	69,30	49	0,012446	0,006223	0,000306
15	13 810	75,66	51	0,012954	0,006477	0,000319
16	14 660	80,31	54	0,013716	0,006858	0,000338
17	15 710	86,07	58	0,014732	0,007366	0,000363
18	16 580	90,83	60	0,015240	0,007620	0,000375
19	17 620	96,53	63	0,016002	0,008001	0,000394
20	18 650	102,17	66	0,016764	0,008382	0,000413
21	19 520	106,94	69	0,017526	0,008763	0,000431
22	20 630	113,02	72	0,018288	0,009144	0,000450
23	21 430	117,40	76	0,019304	0,009652	0,000475
24	22 510	123,32	79	0,020066	0,010033	0,000494
25	23 510	128,80	82	0,020828	0,010414	0,000513
26	24 470	134,06	86	0,021844	0,010922	0,000538
27	25 630	140,41	89	0,022606	0,011303	0,000557
28	26 120	143,10	92	0,023368	0,011684	0,000575
29	27 050	148,19	96	0,024384	0,012192	0,000600

Gráfico 48. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	4,33		142,60	0,000588
0,000050	σ (0,00005)		146,312	ε 0,4σmax
0,0000500	10,68		147,48	0,000613
σ (0,00005)=	10,68	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000607
Ec1=	**243 591,49**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	10,03		143,10	0,000575
0,000050	σ (0,00005)		146,312	ε 0,4σmax
0,0000750	15,56		148,19	0,000600
σ (0,00005)=	11,13	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000591
Ec2=	**249 846,18**	**kgf/cm²**		

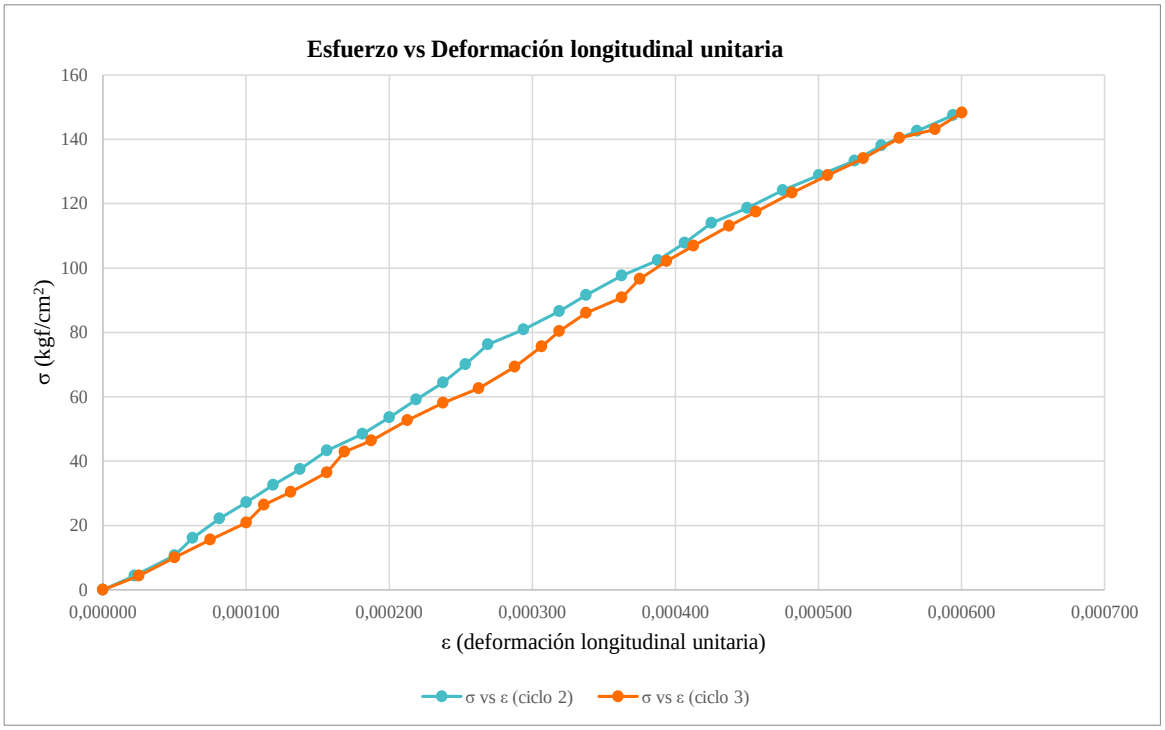
Tabla 79. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,60-3	**Resistencia máxima:**	365,78	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	66 767,44	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,245	cm
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	182,53	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	790	4,33	3,5	0,000889	0,000445	0,000022
3	1 950	10,68	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	2 950	16,16	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 050	22,19	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	4 970	27,23	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	5 950	32,60	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	6 850	37,53	22	0,005588	0,002794	0,000138
9	7 910	43,33	25	0,006350	0,003175	0,000156
10	8 850	48,48	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	9 780	53,58	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	10 800	59,17	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	11 760	64,43	38	0,009652	0,004826	0,000238
14	12 800	70,12	40,5	0,010287	0,005144	0,000253
15	13 910	76,20	43	0,010922	0,005461	0,000269
16	14 770	80,92	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	15 800	86,56	51	0,012954	0,006477	0,000319
18	16 710	91,54	54	0,013716	0,006858	0,000338
19	17 820	97,63	58	0,014732	0,007366	0,000363
20	18 700	102,45	62	0,015748	0,007874	0,000388
21	19 680	107,82	65	0,016510	0,008255	0,000406
22	20 800	113,95	68	0,017272	0,008636	0,000425
23	21 650	118,61	72	0,018288	0,009144	0,000450
24	22 650	124,09	76	0,019304	0,009652	0,000475
25	23 510	128,80	80	0,020320	0,010160	0,000500
26	24 330	133,29	84	0,021336	0,010668	0,000525
27	25 200	138,06	87	0,022098	0,011049	0,000544
28	26 030	142,60	91	0,023114	0,011557	0,000569
29	26 920	147,48	95	0,024130	0,012065	0,000594
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	810	4,44	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	1 830	10,03	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	2 840	15,56	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	3 820	20,93	16	0,004064	0,002032	0,000100
6	4 820	26,41	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	5 550	30,41	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	6 650	36,43	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	7 820	42,84	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	8 460	46,35	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	9 620	52,70	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	10 610	58,13	38	0,009652	0,004826	0,000238
13	11 430	62,62	42	0,010668	0,005334	0,000263
14	12 650	69,30	46	0,011684	0,005842	0,000288
15	13 810	75,66	49	0,012446	0,006223	0,000306
16	14 660	80,31	51	0,012954	0,006477	0,000319
17	15 710	86,07	54	0,013716	0,006858	0,000338
18	16 580	90,83	58	0,014732	0,007366	0,000363
19	17 620	96,53	60	0,015240	0,007620	0,000375
20	18 650	102,17	63	0,016002	0,008001	0,000394
21	19 520	106,94	66	0,016764	0,008382	0,000413
22	20 630	113,02	70	0,017780	0,008890	0,000438
23	21 430	117,40	73	0,018542	0,009271	0,000456
24	22 510	123,32	77	0,019558	0,009779	0,000481
25	23 510	128,80	81	0,020574	0,010287	0,000506
26	24 470	134,06	85	0,021590	0,010795	0,000532
27	25 630	140,41	89	0,022606	0,011303	0,000557
28	26 120	143,10	93	0,023622	0,011811	0,000582
29	27 050	148,19	96	0,024384	0,012192	0,000600

Gráfico 49. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000219	4,33		142,60	0,000569
0,000050	σ (0,00005)		146,312	ε 0,4σmax
0,0000500	10,68		147,48	0,000594
σ (0,00005)=	10,68	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000588
Ec1=	**252 082,98**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	4,44		143,10	0,000582
0,000050	σ (0,00005)		146,312	ε 0,4σmax
0,0000500	10,03		148,19	0,000600
σ (0,00005)=	10,02	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000593
Ec2=	**250 824,38**	**kgf/cm²**		

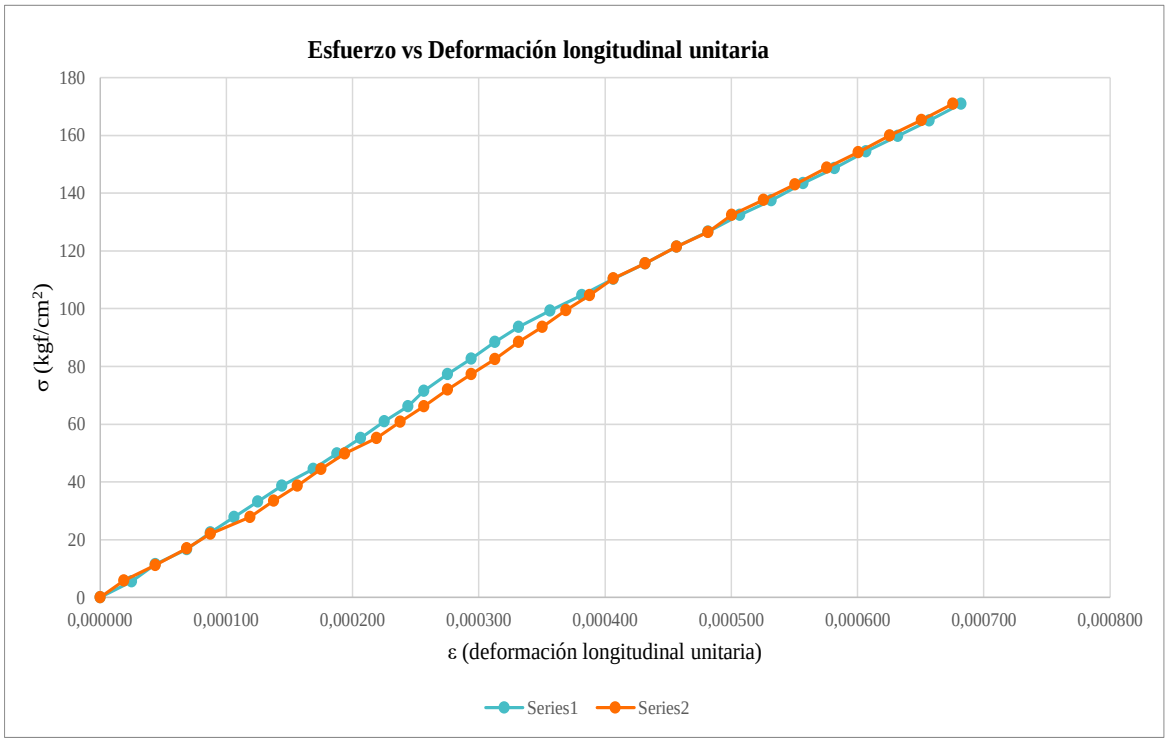
Tabla 80. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	10%-0,60-1	**Resistencia máxima:**	425,71	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	77 401,19	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,3	cm
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,22	cm
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	181,82	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,61	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 090	11,50	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 030	16,67	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 080	22,44	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 060	27,83	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 040	33,22	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 030	38,67	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 090	44,50	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 050	49,78	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	10 020	55,11	33	0,008382	0,004191	0,000206
12	11 080	60,94	36	0,009144	0,004572	0,000225
13	12 040	66,22	39	0,009906	0,004953	0,000244
14	13 010	71,56	41	0,010414	0,005207	0,000257
15	14 070	77,39	44	0,011176	0,005588	0,000275
16	15 030	82,67	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	16 090	88,50	50	0,012700	0,006350	0,000313
18	17 020	93,61	53	0,013462	0,006731	0,000332
19	18 060	99,33	57	0,014478	0,007239	0,000357
20	19 040	104,72	61	0,015494	0,007747	0,000382
21	20 050	110,28	65	0,016510	0,008255	0,000407
22	21 030	115,67	69	0,017526	0,008763	0,000432
23	22 090	121,50	73	0,018542	0,009271	0,000457
24	23 020	126,61	77	0,019558	0,009779	0,000482
25	24 070	132,39	81	0,020574	0,010287	0,000507
26	25 010	137,56	85	0,021590	0,010795	0,000532
27	26 080	143,44	89	0,022606	0,011303	0,000557
28	27 040	148,72	93	0,023622	0,011811	0,000582
29	28 090	154,50	97	0,024638	0,012319	0,000607
30	29 060	159,83	101	0,025654	0,012827	0,000632
31	30 020	165,11	105	0,026670	0,013335	0,000657
32	31 080	170,94	109	0,027686	0,013843	0,000682
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 070	5,89	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 040	11,22	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 090	17,00	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 010	22,06	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 060	27,83	19	0,004826	0,002413	0,000119
7	6 090	33,50	22	0,005588	0,002794	0,000138
8	7 040	38,72	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	8 080	44,44	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	9 050	49,78	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 030	55,17	35	0,008890	0,004445	0,000219
12	11 070	60,89	38	0,009652	0,004826	0,000238
13	12 020	66,11	41	0,010414	0,005207	0,000257
14	13 090	72,00	44	0,011176	0,005588	0,000275
15	14 060	77,33	47	0,011938	0,005969	0,000294
16	15 010	82,56	50	0,012700	0,006350	0,000313
17	16 080	88,44	53	0,013462	0,006731	0,000332
18	17 040	93,72	56	0,014224	0,007112	0,000350
19	18 090	99,50	59	0,014986	0,007493	0,000369
20	19 020	104,61	62	0,015748	0,007874	0,000388
21	20 070	110,39	65	0,016510	0,008255	0,000407
22	21 030	115,67	69	0,017526	0,008763	0,000432
23	22 080	121,44	73	0,018542	0,009271	0,000457
24	23 010	126,56	77	0,019558	0,009779	0,000482
25	24 090	132,50	80	0,020320	0,010160	0,000500
26	25 040	137,72	84	0,021336	0,010668	0,000526
27	26 010	143,06	88	0,022352	0,011176	0,000551
28	27 060	148,83	92	0,023368	0,011684	0,000576
29	28 030	154,17	96	0,024384	0,012192	0,000601
30	29 080	159,94	100	0,025400	0,012700	0,000626
31	30 040	165,22	104	0,026416	0,013208	0,000651
32	31 090	171,00	108	0,027432	0,013716	0,000676

Gráfico 50. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax		
ε	σ		σ	ε	
0,0000438	11,50		165,11	0,000657	
0,000050	σ (0,00005)		170,284	ε 0,4σmax	
0,0000688	16,67		170,94	0,000682	
σ (0,00005)=	12,78	kgf/cm^2	ε 0,4σmax=	0,000679	
Ec1=	**250 368,32**	**kgf/cm^2**			

Ciclo 3					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax		
ε	σ		σ	ε	
0,0000438	11,22		165,22	0,000651	
0,000050	σ (0,00005)		170,284	ε 0,4σmax	
0,0000688	17,00		171,00	0,000676	
σ (0,00005)=	12,65	kgf/cm^2	ε 0,4σmax=	0,000673	
Ec2=	**253 191,55**	**kgf/cm^2**			

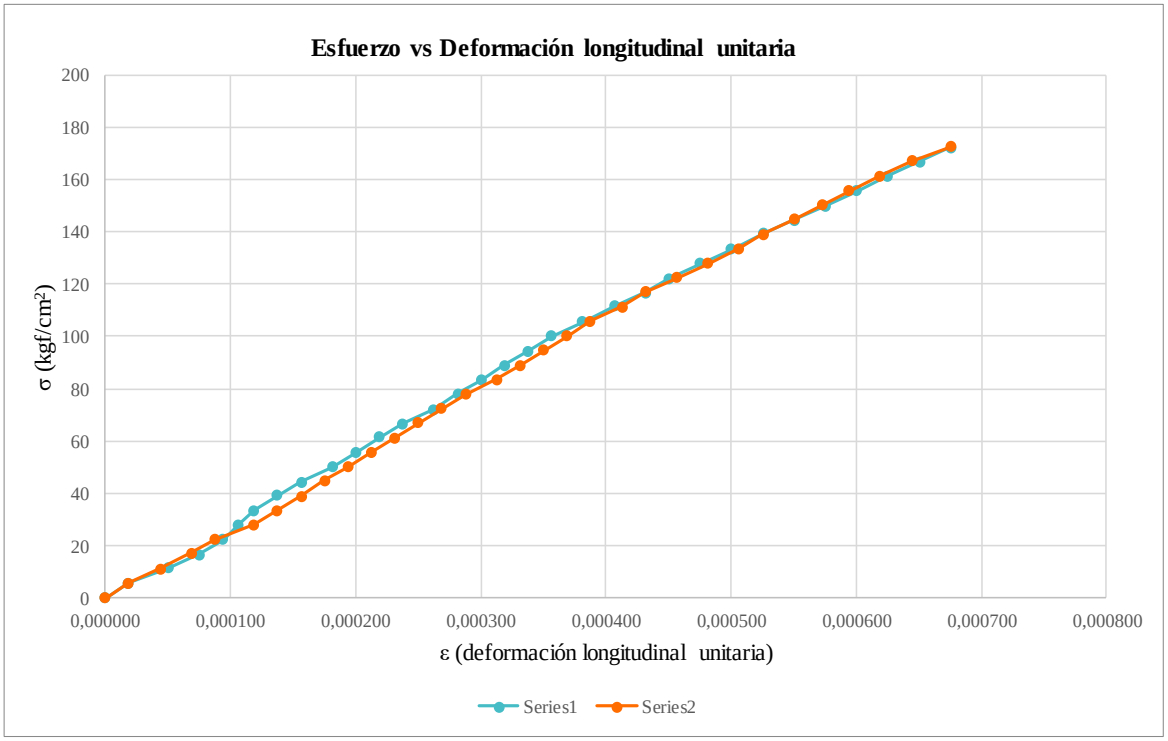
Tabla 81. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla			
	Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	10%-0,60-2	**Resistencia máxima:**	425,71	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	76 705,82	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,3	cm
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,15	cm
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	180,18	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 040	5,77	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 080	11,54	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 020	16,76	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	4 060	22,53	15	0,003810	0,001905	0,000094
6	5 090	28,25	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 030	33,47	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 070	39,24	22	0,005588	0,002794	0,000138
9	8 010	44,45	25	0,006350	0,003175	0,000156
10	9 050	50,23	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	10 020	55,61	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	11 080	61,49	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 040	66,82	38	0,009652	0,004826	0,000238
14	13 010	72,20	42	0,010668	0,005334	0,000263
15	14 090	78,20	45	0,011430	0,005715	0,000282
16	15 030	83,42	48	0,012192	0,006096	0,000300
17	16 060	89,13	51	0,012954	0,006477	0,000319
18	17 020	94,46	54	0,013716	0,006858	0,000338
19	18 070	100,29	57	0,014478	0,007239	0,000357
20	19 040	105,67	61	0,015494	0,007747	0,000382
21	20 090	111,50	65	0,016510	0,008255	0,000407
22	21 050	116,83	69	0,017526	0,008763	0,000432
23	22 010	122,15	72	0,018288	0,009144	0,000450
24	23 060	127,98	76	0,019304	0,009652	0,000475
25	24 020	133,31	80	0,020320	0,010160	0,000500
26	25 080	139,19	84	0,021336	0,010668	0,000526
27	26 030	144,46	88	0,022352	0,011176	0,000551
28	27 010	149,90	92	0,023368	0,011684	0,000576
29	28 050	155,67	96	0,024384	0,012192	0,000601
30	29 090	161,45	100	0,025400	0,012700	0,000626
31	30 040	166,72	104	0,026416	0,013208	0,000651
32	31 020	172,16	108	0,027432	0,013716	0,000676
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,88	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 010	11,16	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 090	17,15	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 020	22,31	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 080	28,19	19	0,004826	0,002413	0,000119
7	6 040	33,52	22	0,005588	0,002794	0,000138
8	7 030	39,02	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	8 090	44,90	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	9 040	50,17	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 070	55,89	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 030	61,22	37	0,009398	0,004699	0,000231
13	12 090	67,10	40	0,010160	0,005080	0,000250
14	13 050	72,43	43	0,010922	0,005461	0,000269
15	14 020	77,81	46	0,011684	0,005842	0,000288
16	15 060	83,58	50	0,012700	0,006350	0,000313
17	16 010	88,85	53	0,013462	0,006731	0,000332
18	17 080	94,79	56	0,014224	0,007112	0,000350
19	18 030	100,06	59	0,014986	0,007493	0,000369
20	19 070	105,84	62	0,015748	0,007874	0,000388
21	20 040	111,22	66	0,016764	0,008382	0,000413
22	21 090	117,05	69	0,017526	0,008763	0,000432
23	22 050	122,38	73	0,018542	0,009271	0,000457
24	23 020	127,76	77	0,019558	0,009779	0,000482
25	24 080	133,64	81	0,020574	0,010287	0,000507
26	25 030	138,91	84	0,021336	0,010668	0,000526
27	26 070	144,69	88	0,022352	0,011176	0,000551
28	27 040	150,07	91,5	0,023241	0,011621	0,000572
29	28 010	155,45	95	0,024130	0,012065	0,000594
30	29 060	161,28	99	0,025146	0,012573	0,000619
31	30 090	167,00	103	0,026162	0,013081	0,000644
32	31 050	172,32	108	0,027432	0,013716	0,000676

Gráfico 51. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000188	5,77		166,72	0,000651
0,000050	σ (0,00005)		170,284	ε 0,4σmax
0,0000500	11,54		172,16	0,000676
σ (0,00005)=	11,53	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000667
Ec1=	**257 274,50**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,16		167,00	0,000644
0,000050	σ (0,00005)		170,284	ε 0,4σmax
0,0000688	17,15		172,32	0,000676
σ (0,00005)=	12,64	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000664
Ec2=	**256 877,85**	**kgf/cm²**		

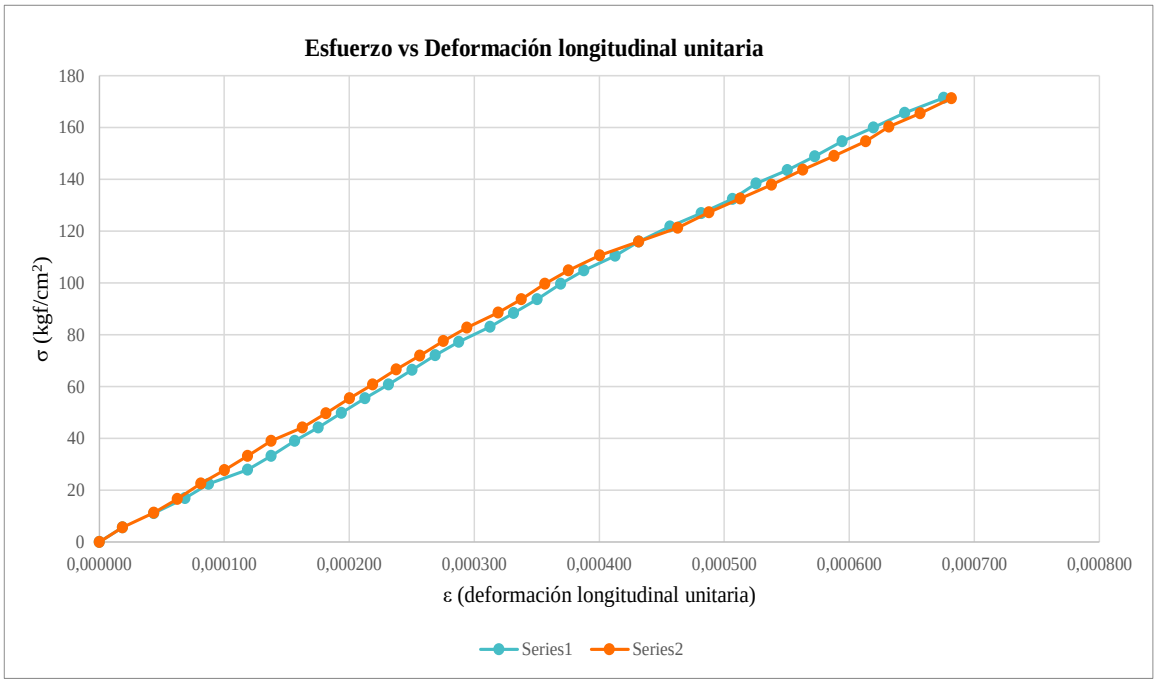
Tabla 82. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo				
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático				
Norma:	ASTM C469				
Lugar:	Cusco				
Muestra:	10%-0,60-3	**Resistencia máxima:**	425,71	kgf/cm²	
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	77 208,00	kg	
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,3	cm	
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,20	cm	
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	181,36	cm²	

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 040	5,73	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 030	11,19	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 080	16,98	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 070	22,44	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 060	27,90	19	0,004826	0,002413	0,000119
7	6 020	33,19	22	0,005588	0,002794	0,000138
8	7 070	38,98	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	8 020	44,22	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	9 050	49,90	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 080	55,58	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 020	60,76	37	0,009398	0,004699	0,000231
13	12 060	66,50	40	0,010160	0,005080	0,000250
14	13 090	72,18	43	0,010922	0,005461	0,000269
15	14 030	77,36	46	0,011684	0,005842	0,000288
16	15 070	83,09	50	0,012700	0,006350	0,000313
17	16 040	88,44	53	0,013462	0,006731	0,000332
18	17 010	93,79	56	0,014224	0,007112	0,000350
19	18 090	99,74	59	0,014986	0,007493	0,000369
20	19 020	104,87	62	0,015748	0,007874	0,000388
21	20 050	110,55	66	0,016764	0,008382	0,000413
22	21 030	115,96	69	0,017526	0,008763	0,000432
23	22 080	121,74	73	0,018542	0,009271	0,000457
24	23 040	127,04	77	0,019558	0,009779	0,000482
25	24 010	132,39	81	0,020574	0,010287	0,000507
26	25 090	138,34	84	0,021336	0,010668	0,000526
27	26 050	143,63	88	0,022352	0,011176	0,000551
28	27 020	148,98	91,5	0,023241	0,011621	0,000572
29	28 070	154,77	95	0,024130	0,012065	0,000594
30	29 030	160,07	99	0,025146	0,012573	0,000619
31	30 060	165,75	103	0,026162	0,013081	0,000644
32	31 090	171,42	108	0,027432	0,013716	0,000676
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,62	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 060	11,36	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 010	16,60	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 090	22,55	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 050	27,84	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	33,25	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 080	39,04	22	0,005588	0,002794	0,000138
9	8 030	44,28	26	0,006604	0,003302	0,000163
10	9 020	49,73	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	10 070	55,52	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	11 030	60,82	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 090	66,66	38	0,009652	0,004826	0,000238
14	13 040	71,90	41	0,010414	0,005207	0,000257
15	14 080	77,63	44	0,011176	0,005588	0,000275
16	15 020	82,82	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	16 060	88,55	51	0,012954	0,006477	0,000319
18	17 010	93,79	54	0,013716	0,006858	0,000338
19	18 070	99,63	57	0,014478	0,007239	0,000357
20	19 030	104,93	60	0,015240	0,007620	0,000375
21	20 080	110,72	64	0,016256	0,008128	0,000400
22	21 040	116,01	69	0,017526	0,008763	0,000432
23	22 010	121,36	74	0,018796	0,009398	0,000463
24	23 090	127,31	78	0,019812	0,009906	0,000488
25	24 050	132,61	82	0,020828	0,010414	0,000513
26	25 020	137,96	86	0,021844	0,010922	0,000538
27	26 080	143,80	90	0,022860	0,011430	0,000563
28	27 030	149,04	94	0,023876	0,011938	0,000588
29	28 060	154,72	98	0,024892	0,012446	0,000613
30	29 090	160,40	101	0,025654	0,012827	0,000632
31	30 010	165,47	105	0,026670	0,013335	0,000657
32	31 070	171,31	109	0,027686	0,013843	0,000682

Gráfico 52. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)				Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ			σ	ε
0,0000438	11,19			165,75	0,000644
0,000050	σ (0,00005)			170,284	ε 0,4σmax
0,0000688	16,98			171,42	0,000676
σ (0,00005)=	12,63	kgf/cm²		ε 0,4σmax=	0,000669
		Ec1=	**254 534,91**	**kgf/cm²**	

Ciclo 3					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)				Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ			σ	ε
0,0000438	11,36			165,47	0,000657
0,000050	σ (0,00005)			170,284	ε 0,4σmax
0,0000626	16,60			171,31	0,000682
σ (0,00005)=	13,09	kgf/cm²		ε 0,4σmax=	0,000678
		Ec2=	**250 502,74**	**kgf/cm²**	

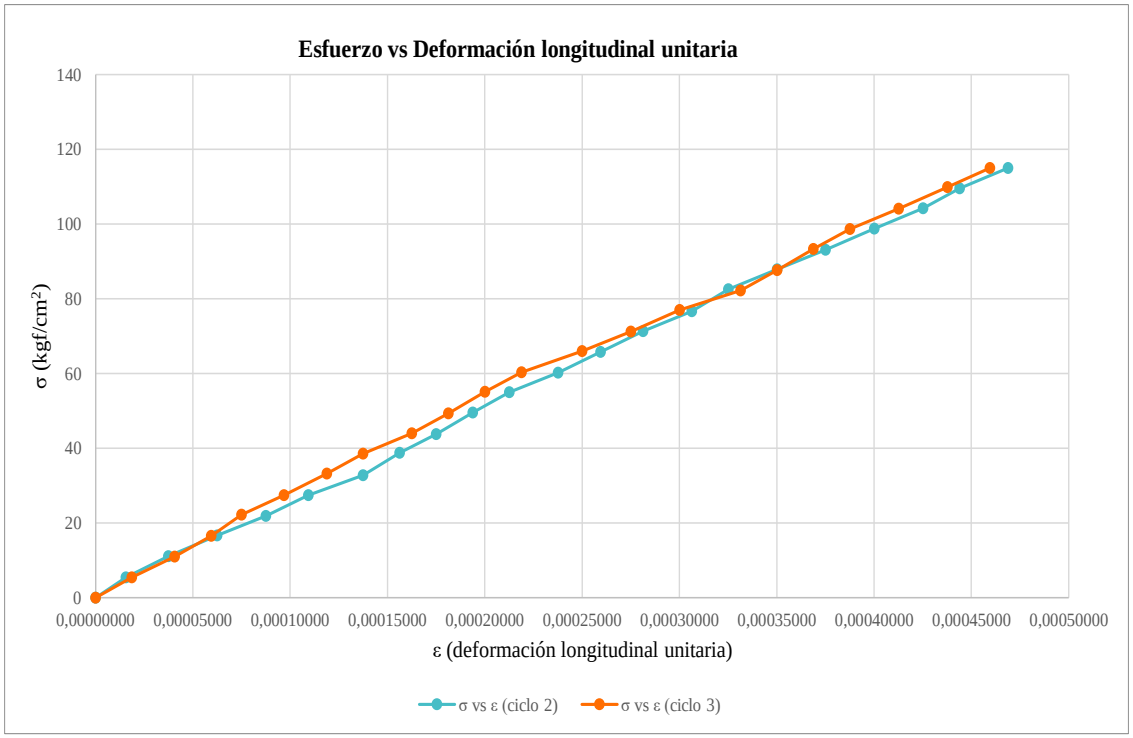
Tabla 83. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,50-1	**Resistencia máxima:**	284,38	kgf/cm^2
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	51 953,41	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,25	cm
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	182,69	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm^2)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 000	5,47	2,5	0,0006350	0,0003175	0,00001563
3	2 030	11,11	6	0,0015240	0,0007620	0,00003752
4	3 050	16,69	10	0,0025400	0,0012700	0,00006253
5	4 000	21,90	14	0,0035560	0,0017780	0,00008754
6	5 030	27,53	17,5	0,0044450	0,0022225	0,00010943
7	6 000	32,84	22	0,0055880	0,0027940	0,00013757
8	7 090	38,81	25	0,0063500	0,0031750	0,00015633
9	8 010	43,84	28	0,0071120	0,0035560	0,00017509
10	9 070	49,65	31	0,0078740	0,0039370	0,00019385
11	10 050	55,01	34	0,0086360	0,0043180	0,00021260
12	11 020	60,32	38	0,0096520	0,0048260	0,00023762
13	12 030	65,85	41,5	0,0105410	0,0052705	0,00025950
14	13 040	71,38	45	0,0114300	0,0057150	0,00028139
15	14 010	76,69	49	0,0124460	0,0062230	0,00030640
16	15 090	82,60	52	0,0132080	0,0066040	0,00032516
17	16 070	87,96	56	0,0142240	0,0071120	0,00035017
18	17 030	93,22	60	0,0152400	0,0076200	0,00037518
19	18 050	98,80	64	0,0162560	0,0081280	0,00040020
20	19 050	104,27	68	0,0172720	0,0086360	0,00042521
21	20 030	109,64	71	0,0180340	0,0090170	0,00044397
22	21 010	115,00	75	0,0190500	0,0095250	0,00046898
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1000	5,47	3	0,0007620	0,0003810	0,00001876
3	2020	11,06	6,5	0,0016510	0,0008255	0,00004065
4	3 040	16,64	9,5	0,0024130	0,0012065	0,00005940
5	4 060	22,22	12	0,0030480	0,0015240	0,00007504
6	5 020	27,48	15,5	0,0039370	0,0019685	0,00009692
7	6 080	33,28	19	0,0048260	0,0024130	0,00011881
8	7 060	38,64	22	0,0055880	0,0027940	0,00013757
9	8 040	44,01	26	0,0066040	0,0033020	0,00016258
10	9 020	49,37	29	0,0073660	0,0036830	0,00018134
11	10 080	55,18	32	0,0081280	0,0040640	0,00020010
12	11 040	60,43	35	0,0088900	0,0044450	0,00021886
13	12 060	66,01	40	0,0101600	0,0050800	0,00025012
14	13 020	71,27	44	0,0111760	0,0055880	0,00027514
15	14 080	77,07	48	0,0121920	0,0060960	0,00030015
16	15 040	82,33	53	0,0134620	0,0067310	0,00033141
17	16 020	87,69	56	0,0142240	0,0071120	0,00035017
18	17 060	93,38	59	0,0149860	0,0074930	0,00036893
19	18 040	98,75	62	0,0157480	0,0078740	0,00038769
20	19 020	104,11	66	0,0167640	0,0083820	0,00041270
21	20 080	109,91	70	0,0177800	0,0088900	0,00043772
22	21 020	115,06	73,5	0,0186690	0,0093345	0,00045960

Gráfico 53. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,11		109,64	0,000444
0,000050	σ (0,00005)		113,752	ε 0,4σmax
0,0000625	16,69		115,00	0,000469
σ (0,00005)=	13,90	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000463
Ec1=	**241 692,58**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000406	11,06		109,91	0,000438
0,000050	σ (0,00005)		113,752	ε 0,4σmax
0,0000594	16,64		115,06	0,000460
σ (0,00005)=	13,84	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000454
Ec2=	**247 276,22**	**kgf/cm²**		

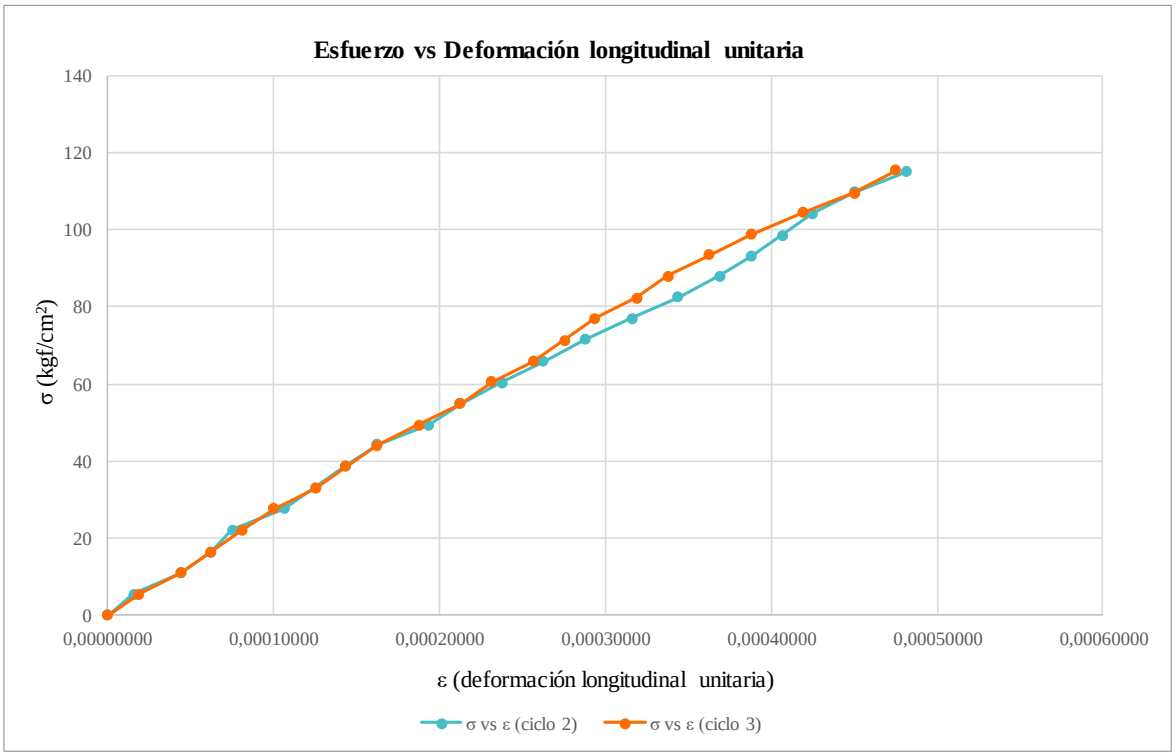
Tabla 84. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,50-2	**Resistencia máxima:**	284,38	kgf/cm²
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	51 953,41	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,25	cm
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	182,69	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,00000000	0,00000000
2	1 010	5,53	2,5	0,0006350	0,00031750	0,00001563
3	2 020	11,06	7	0,0017780	0,00088900	0,00004377
4	3 030	16,59	10	0,0025400	0,00127000	0,00006253
5	4 040	22,11	12	0,0030480	0,00152400	0,00007504
6	5 060	27,70	17	0,0043180	0,00215900	0,00010630
7	6 070	33,23	20	0,0050800	0,00254000	0,00012506
8	7 080	38,75	23	0,0058420	0,00292100	0,00014382
9	8 090	44,28	26	0,0066040	0,00330200	0,00016258
10	9 010	49,32	31	0,0078740	0,00393700	0,00019385
11	10 020	54,85	34	0,0086360	0,00431800	0,00021260
12	11 030	60,38	38	0,0096520	0,00482600	0,00023762
13	12 040	65,90	42	0,0106680	0,00533400	0,00026263
14	13 050	71,43	46	0,0116840	0,00584200	0,00028764
15	14 060	76,96	50,5	0,0128270	0,00641350	0,00031578
16	15 070	82,49	55	0,0139700	0,00698500	0,00034392
17	16 080	88,02	59	0,0149860	0,00749300	0,00036893
18	17 000	93,05	62	0,0157480	0,00787400	0,00038769
19	18 010	98,58	65	0,0165100	0,00825500	0,00040645
20	19 020	104,11	68	0,0172720	0,00863600	0,00042521
21	20 030	109,64	72	0,0182880	0,00914400	0,00045022
22	21 000	114,95	77	0,0195580	0,00977900	0,00048149
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,0000000	0,0000000
2	1 020	5,58	3	0,000762	0,0003810	0,0000188
3	2 030	11,11	7	0,001778	0,0008890	0,0000438
4	3 010	16,48	10	0,002540	0,0012700	0,0000625
5	4 050	22,17	13	0,003302	0,0016510	0,0000813
6	5 060	27,70	16	0,004064	0,0020320	0,0001000
7	6 020	32,95	20	0,005080	0,0025400	0,0001251
8	7 070	38,70	23	0,005842	0,0029210	0,0001438
9	8 060	44,12	26	0,006604	0,0033020	0,0001626
10	9 020	49,37	30	0,007620	0,0038100	0,0001876
11	10 010	54,79	34	0,008636	0,0043180	0,0002126
12	11 070	60,59	37	0,009398	0,0046990	0,0002314
13	12 040	65,90	41	0,010414	0,0052070	0,0002564
14	13 010	71,21	44	0,011176	0,0055880	0,0002751
15	14 050	76,91	47	0,011938	0,0059690	0,0002939
16	15 020	82,22	51	0,012954	0,0064770	0,0003189
17	16 070	87,96	54	0,013716	0,0068580	0,0003377
18	17 080	93,49	58	0,014732	0,0073660	0,0003627
19	18 020	98,64	62	0,015748	0,0078740	0,0003877
20	19 060	104,33	67	0,017018	0,0085090	0,0004190
21	20 010	109,53	72	0,018288	0,0091440	0,0004502
22	21 080	115,39	76	0,019304	0,0096520	0,0004752

Gráfico 54. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,06		109,53	0,000450
0,000050	σ (0,00005)		113,752	ε 0,4σmax
0,0000625	16,59		114,95	0,000481
σ (0,00005)=	12,89	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000475
Ec1=	**237 549,90**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,11		109,53	0,000450
0,000050	σ (0,00005)		113,752	ε 0,4σmax
0,0000625	16,48		115,39	0,000475
σ (0,00005)=	12,89	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000468
Ec2=	**241 144,11**	**kgf/cm²**		

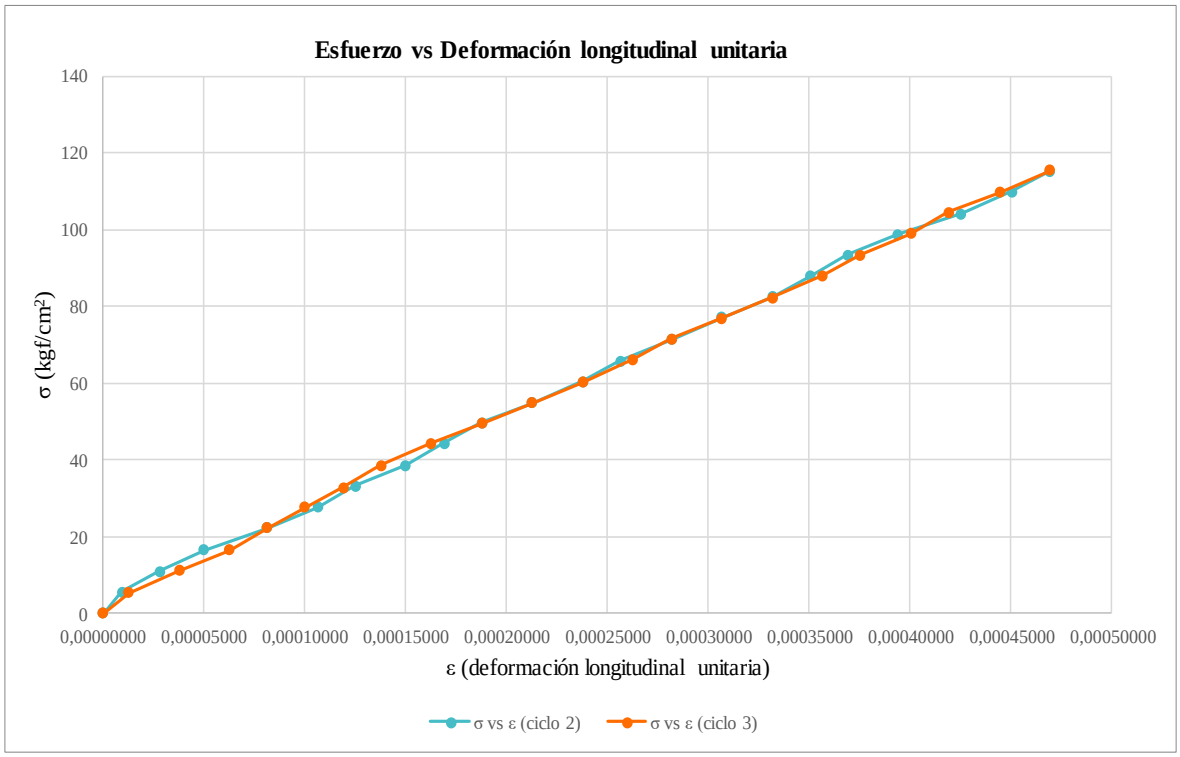
Tabla 85. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,50-3	**Resistencia máxima:**	284,38	kgf/cm²
Edad:	30 días	**Carga de rotura:**	51 926,16	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,3	cm
F. de elaboración:	30/09/2025	**Diámetro:**	15,25	cm
Fecha de ensayo:	30/10/2025	**Área:**	182,59	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,00000000	0,00000000
2	1 010	5,53	1,5	0,0003810	0,00019050	0,00000938
3	2 020	11,06	4,5	0,0011430	0,00057150	0,00002815
4	3 030	16,59	8	0,0020320	0,00101600	0,00005005
5	4 070	22,29	13	0,0033020	0,00165100	0,00008133
6	5 040	27,60	17	0,0043180	0,00215900	0,00010635
7	6 050	33,13	20	0,0050800	0,00254000	0,00012512
8	7 030	38,50	24	0,0060960	0,00304800	0,00015015
9	8 090	44,31	27	0,0068580	0,00342900	0,00016892
10	9 060	49,62	30	0,0076200	0,00381000	0,00018768
11	10 020	54,88	34	0,0086360	0,00431800	0,00021271
12	11 050	60,52	38	0,0096520	0,00482600	0,00023773
13	12 010	65,77	41	0,0104140	0,00520700	0,00025650
14	13 040	71,42	45	0,0114300	0,00571500	0,00028153
15	14 080	77,11	49	0,0124460	0,00622300	0,00030655
16	15 060	82,48	53	0,0134620	0,00673100	0,00033158
17	16 030	87,79	56	0,0142240	0,00711200	0,00035034
18	17 050	93,38	59	0,0149860	0,00749300	0,00036911
19	18 040	98,80	63	0,0160020	0,00800100	0,00039414
20	19 010	104,11	68	0,0172720	0,00863600	0,00042542
21	20 070	109,92	72	0,0182880	0,00914400	0,00045044
22	21 020	115,12	75	0,0190500	0,00952500	0,00046921
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,0000000
2	1 000	5,48	2	0,0005080	0,0002540	0,0000125
3	2 040	11,17	6	0,0015240	0,0007620	0,0000375
4	3 020	16,54	10	0,0025400	0,0012700	0,0000626
5	4 080	22,34	13	0,0033020	0,0016510	0,0000813
6	5 070	27,77	16	0,0040640	0,0020320	0,0001001
7	6 010	32,91	19	0,0048260	0,0024130	0,0001189
8	7 050	38,61	22	0,0055880	0,0027940	0,0001376
9	8 080	44,25	26	0,0066040	0,0033020	0,0001627
10	9 040	49,51	30	0,0076200	0,0038100	0,0001877
11	10 030	54,93	34	0,0086360	0,0043180	0,0002127
12	11 010	60,30	38	0,0096520	0,0048260	0,0002377
13	12 080	66,16	42	0,0106680	0,0053340	0,0002628
14	13 050	71,47	45	0,0114300	0,0057150	0,0002815
15	14 030	76,84	49	0,0124460	0,0062230	0,0003066
16	15 010	82,20	53	0,0134620	0,0067310	0,0003316
17	16 080	88,06	57	0,0144780	0,0072390	0,0003566
18	17 040	93,32	60	0,0152400	0,0076200	0,0003754
19	18 060	98,91	64	0,0162560	0,0081280	0,0004004
20	19 080	104,49	67	0,0170180	0,0085090	0,0004192
21	20 020	109,64	71	0,0180340	0,0090170	0,0004442
22	21 070	115,39	75	0,0190500	0,0095250	0,0004692

Gráfico 55. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000282	11,06		109,64	0,000450
0,000050	σ (0,00005)		113,752	ε 0,4σmax
0,0000500	16,59		115,12	0,000469
σ (0,00005)=	16,58	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000465
Ec1=	**234 411,62**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,17		109,64	0,000444
0,000050	σ (0,00005)		113,752	ε 0,4σmax
0,0000626	16,54		115,39	0,000469
σ (0,00005)=	13,85	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000462
Ec2=	**242 449,06**	**kgf/cm²**		

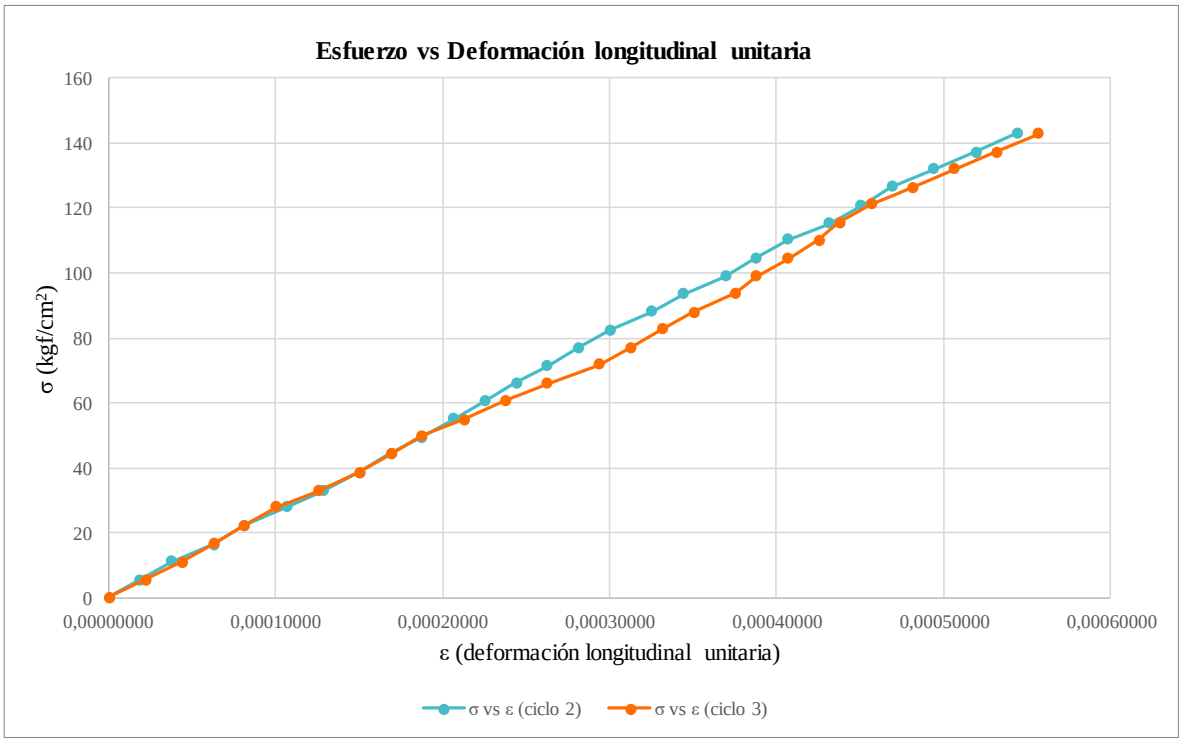
Tabla 86. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,50-1	**Resistencia máxima:**	344,23	kgf/cm²
Edad:	33 días	**Carga de rotura:**	62 784,37	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,24	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	182,39	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 010	5,54	3	0,0007620	0,0003810	0,00001875
3	2 030	11,13	6	0,0015240	0,0007620	0,00003750
4	3 010	16,50	10	0,0025400	0,0012700	0,00006250
5	4 070	22,31	13	0,0033020	0,0016510	0,00008125
6	5 090	27,91	17	0,0043180	0,0021590	0,00010625
7	6 020	33,01	20,5	0,0052070	0,0026035	0,00012813
8	7 050	38,65	24	0,0060960	0,0030480	0,00015000
9	8 090	44,36	27	0,0068580	0,0034290	0,00016875
10	9 010	49,40	30	0,0076200	0,0038100	0,00018750
11	10 040	55,05	33	0,0083820	0,0041910	0,00020625
12	11 020	60,42	36	0,0091440	0,0045720	0,00022500
13	12 080	66,23	39	0,0099060	0,0049530	0,00024375
14	13 030	71,44	42	0,0106680	0,0053340	0,00026250
15	14 050	77,03	45	0,0114300	0,0057150	0,00028125
16	15 010	82,30	48	0,0121920	0,0060960	0,00030000
17	16 070	88,11	52	0,0132080	0,0066040	0,00032500
18	17 040	93,43	55	0,0139700	0,0069850	0,00034375
19	18 020	98,80	59	0,0149860	0,0074930	0,00036875
20	19 060	104,50	62	0,0157480	0,0078740	0,00038750
21	20 090	110,15	65	0,0165100	0,0082550	0,00040625
22	21 030	115,30	69	0,0175260	0,0087630	0,00043125
23	22 010	120,67	72	0,0182880	0,0091440	0,00045000
24	23 080	126,54	75	0,0190500	0,0095250	0,00046875
25	24 050	131,86	79	0,0200660	0,0100330	0,00049375
26	25 020	137,18	83	0,0210820	0,0105410	0,00051875
27	26 070	142,93	87	0,0220980	0,0110490	0,00054375
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 020	5,59	3,5	0,0008890	0,0004445	0,00002188
3	2 010	11,02	7	0,0017780	0,0008890	0,00004375
4	3 030	16,61	10	0,0025400	0,0012700	0,00006250
5	4 050	22,21	13	0,0033020	0,0016510	0,00008125
6	5 080	27,85	16	0,0040640	0,0020320	0,00010000
7	6 010	32,95	20	0,0050800	0,0025400	0,00012500
8	7 040	38,60	24	0,0060960	0,0030480	0,00015000
9	8 060	44,19	27	0,0068580	0,0034290	0,00016875
10	9 080	49,78	30	0,0076200	0,0038100	0,00018750
11	10 010	54,88	34	0,0086360	0,0043180	0,00021250
12	11 070	60,69	38	0,0096520	0,0048260	0,00023750
13	12 030	65,96	42	0,0106680	0,0053340	0,00026250
14	13 090	71,77	47	0,0119380	0,0059690	0,00029375
15	14 020	76,87	50	0,0127000	0,0063500	0,00031250
16	15 060	82,57	53	0,0134620	0,0067310	0,00033125
17	16 040	87,94	56	0,0142240	0,0071120	0,00035000
18	17 080	93,65	60	0,0152400	0,0076200	0,00037500
19	18 050	98,96	62	0,0157480	0,0078740	0,00038750
20	19 020	104,28	65	0,0165100	0,0082550	0,00040625
21	20 080	110,09	68	0,0172720	0,0086360	0,00042500
22	21 040	115,36	70	0,0177800	0,0088900	0,00043750
23	22 090	121,11	73	0,0185420	0,0092710	0,00045625
24	23 030	126,27	77	0,0195580	0,0097790	0,00048125
25	24 070	131,97	81	0,0205740	0,0102870	0,00050625
26	25 010	137,12	85	0,0215900	0,0107950	0,00053125
27	26 050	142,83	89	0,0226060	0,0113030	0,00055625

Gráfico 56. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,13		137,18	0,000519
0,000050	σ (0,00005)		137,692	ε 0,4σmax
0,0000625	16,50		142,93	0,000544
σ (0,00005)=	13,82	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000521
Ec1=	**263 015,33**	**kgf/cm²**		
Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,02		137,12	0,000531
0,000050	σ (0,00005)		137,692	ε 0,4σmax
0,0000625	16,61		142,83	0,000556
σ (0,00005)=	12,88	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000534
Ec2=	**258 003,39**	**kgf/cm²**		

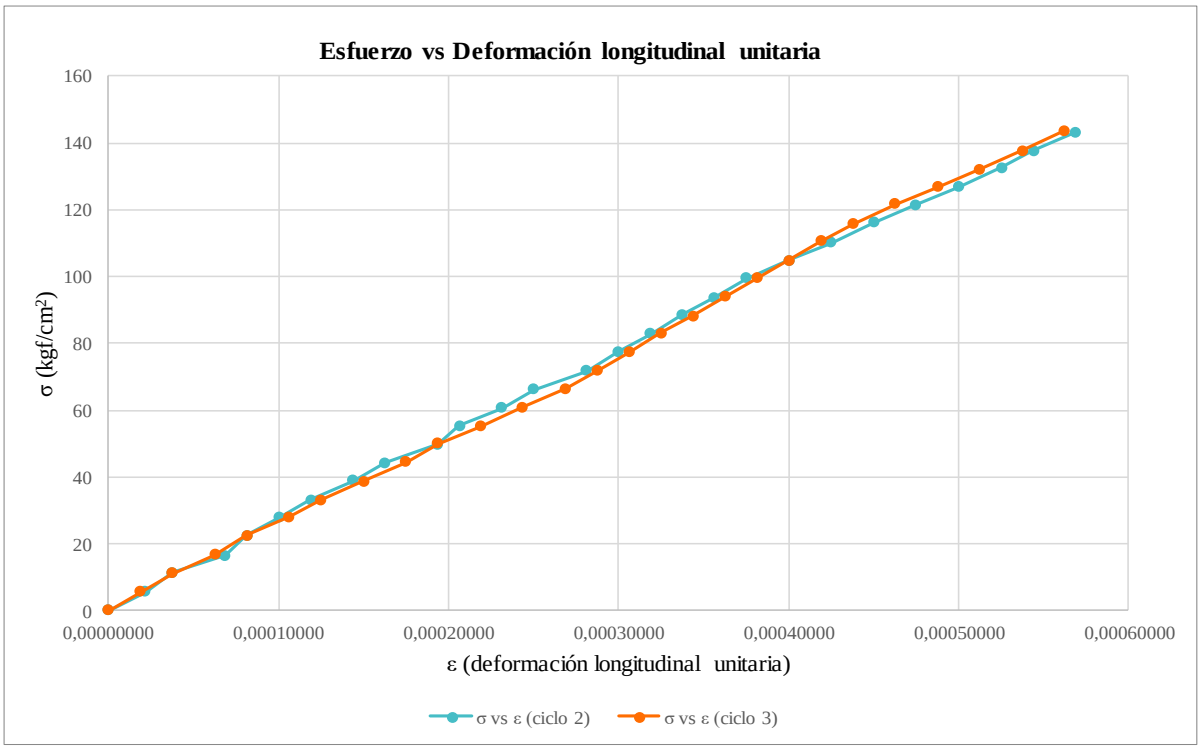
Tabla 87. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,50-2	**Resistencia máxima:**	344,23	kgf/cm²
Edad:	33 días	**Carga de rotura:**	62 537,41	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,21	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	181,67	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,00000000
2	1 000	5,50	3,5	0,0008890	0,0004445	0,00002188
3	2 090	11,50	6	0,0015240	0,0007620	0,00003750
4	3 010	16,57	11	0,0027940	0,0013970	0,00006875
5	4 080	22,46	13	0,0033020	0,0016510	0,00008125
6	5 060	27,85	16	0,0040640	0,0020320	0,00010000
7	6 030	33,19	19	0,0048260	0,0024130	0,00011875
8	7 070	38,92	23	0,0058420	0,0029210	0,00014375
9	8 050	44,31	26	0,0066040	0,0033020	0,00016250
10	9 030	49,70	31	0,0078740	0,0039370	0,00019375
11	10 060	55,37	33	0,0083820	0,0041910	0,00020625
12	11 030	60,71	37	0,0093980	0,0046990	0,00023125
13	12 010	66,11	40	0,0101600	0,0050800	0,00025000
14	13 050	71,83	45	0,0114300	0,0057150	0,00028125
15	14 080	77,50	48	0,0121920	0,0060960	0,00030000
16	15 040	82,79	51	0,0129540	0,0064770	0,00031875
17	16 090	88,57	54	0,0137160	0,0068580	0,00033750
18	17 020	93,68	57	0,0144780	0,0072390	0,00035625
19	18 070	99,46	60	0,0152400	0,0076200	0,00037500
20	19 040	104,80	64	0,0162560	0,0081280	0,00040000
21	20 010	110,14	68	0,0172720	0,0086360	0,00042500
22	21 080	116,03	72	0,0182880	0,0091440	0,00045000
23	22 040	121,32	76	0,0193040	0,0096520	0,00047500
24	23 010	126,66	80	0,0203200	0,0101600	0,00050000
25	24 090	132,60	84	0,0213360	0,0106680	0,00052500
26	25 000	137,61	87	0,0220980	0,0110490	0,00054375
27	26 020	143,22	91	0,0231140	0,0115570	0,00056875
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,0000000	0,00000000
2	1 020	5,61	3	0,000762	0,0003810	0,00001875
3	2 030	11,17	6	0,001524	0,0007620	0,00003750
4	3 050	16,79	10	0,002540	0,0012700	0,00006250
5	4 070	22,40	13	0,003302	0,0016510	0,00008125
6	5 090	28,02	17	0,004318	0,0021590	0,00010625
7	6 020	33,14	20	0,005080	0,0025400	0,00012500
8	7 040	38,75	24	0,006096	0,0030480	0,00015000
9	8 060	44,37	28	0,007112	0,0035560	0,00017500
10	9 080	49,98	31	0,007874	0,0039370	0,00019375
11	10 020	55,15	35	0,008890	0,0044450	0,00021875
12	11 040	60,77	39	0,009906	0,0049530	0,00024375
13	12 060	66,38	43	0,010922	0,0054610	0,00026875
14	13 010	71,61	46	0,011684	0,0058420	0,00028750
15	14 030	77,23	49	0,012446	0,0062230	0,00030625
16	15 070	82,95	52	0,013208	0,0066040	0,00032500
17	16 010	88,13	55	0,013970	0,0069850	0,00034375
18	17 050	93,85	58	0,014732	0,0073660	0,00036250
19	18 090	99,57	61	0,015494	0,0077470	0,00038125
20	19 030	104,75	64	0,016256	0,0081280	0,00040000
21	20 070	110,47	67	0,017018	0,0085090	0,00041875
22	21 020	115,70	70	0,017780	0,0088900	0,00043750
23	22 080	121,54	74	0,018796	0,0093980	0,00046250
24	23 040	126,82	78	0,019812	0,0099060	0,00048750
25	24 010	132,16	82	0,020828	0,0104140	0,00051250
26	25 010	137,66	86	0,021844	0,0109220	0,00053750
27	26 090	143,61	90	0,022860	0,0114300	0,00056250

Gráfico 57. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,50		137,61	0,000544
0,000050	σ (0,00005)		137,692	ε 0,4σmax
0,0000688	16,57		143,22	0,000569
σ (0,00005)=	13,53	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000544
Ec1=	**251 281,12**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,17		137,66	0,000538
0,000050	σ (0,00005)		137,692	ε 0,4σmax
0,0000625	16,79		143,61	0,000563
σ (0,00005)=	13,98	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000538
Ec2=	**253 706,05**	**kgf/cm²**		

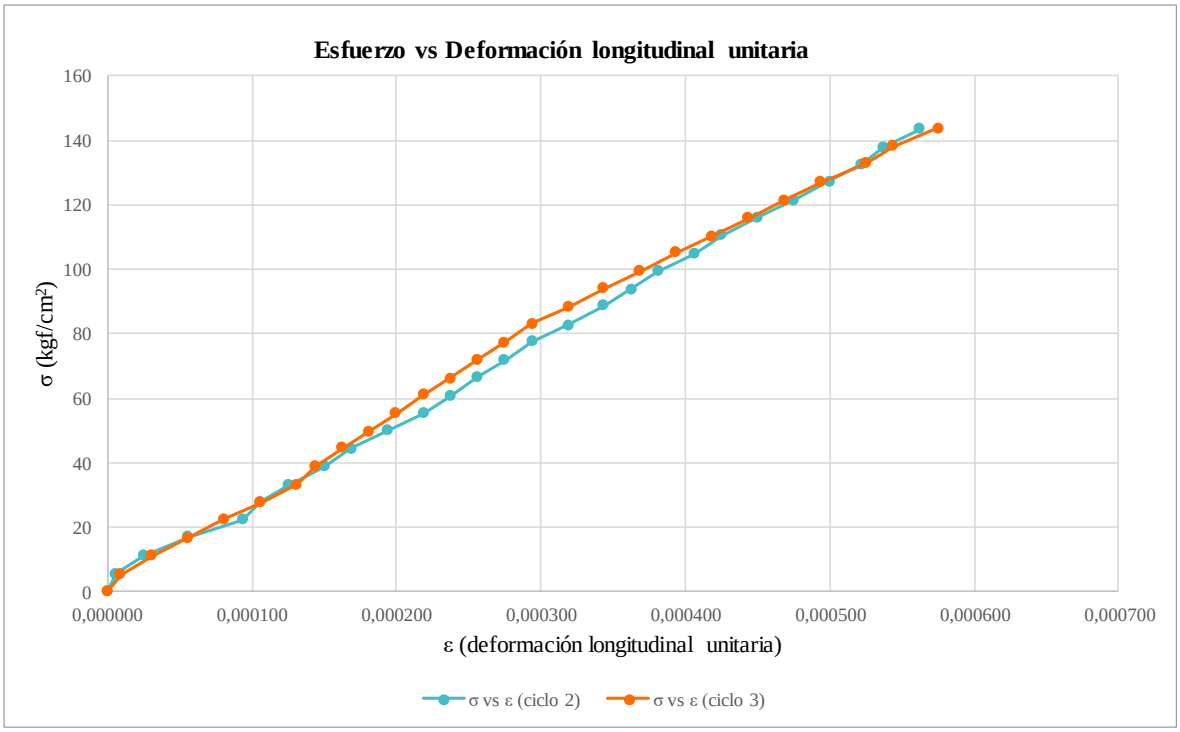
Tabla 88. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,50-3	**Resistencia máxima:**	344,23	kgf/cm²
Edad:	33 dias	**Carga de rotura:**	62 418,23	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,19	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	181,33	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,57	1	0,000254	0,000127	0,000006
3	2 020	11,14	4	0,001016	0,000508	0,000025
4	3 090	17,04	9	0,002286	0,001143	0,000056
5	4 060	22,39	15	0,003810	0,001905	0,000094
6	5 080	28,02	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 010	33,14	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 030	38,77	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	8 050	44,39	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 070	50,02	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 030	55,31	35	0,008890	0,004445	0,000219
12	11 010	60,72	38	0,009652	0,004826	0,000238
13	12 090	66,68	41	0,010414	0,005207	0,000256
14	13 040	71,91	44	0,011176	0,005588	0,000275
15	14 060	77,54	47	0,011938	0,005969	0,000294
16	15 020	82,83	51	0,012954	0,006477	0,000319
17	16 080	88,68	55	0,013970	0,006985	0,000344
18	17 030	93,92	58	0,014732	0,007366	0,000363
19	18 050	99,54	61	0,015494	0,007747	0,000381
20	19 010	104,84	65	0,016510	0,008255	0,000406
21	20 040	110,52	68	0,017272	0,008636	0,000425
22	21 080	116,25	72	0,018288	0,009144	0,000450
23	22 020	121,44	76	0,019304	0,009652	0,000475
24	23 090	127,34	80	0,020320	0,010160	0,000500
25	24 050	132,63	83,5	0,021209	0,010605	0,000522
26	25 030	138,04	86	0,021844	0,010922	0,000538
27	26 010	143,44	90	0,022860	0,011430	0,000563
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 000	5,51	1,5	0,000381	0,000191	0,000009
3	2 030	11,20	5	0,001270	0,000635	0,000031
4	3 060	16,88	9	0,002286	0,001143	0,000056
5	4 090	22,56	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 020	27,68	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 040	33,31	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	7 060	38,94	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 080	44,56	26	0,006604	0,003302	0,000163
10	9 010	49,69	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	10 050	55,42	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	11 080	61,11	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 020	66,29	38	0,009652	0,004826	0,000238
14	13 070	72,08	41	0,010414	0,005207	0,000256
15	14 010	77,26	44	0,011176	0,005588	0,000275
16	15 090	83,22	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	16 030	88,40	51	0,012954	0,006477	0,000319
18	17 060	94,08	55	0,013970	0,006985	0,000344
19	18 040	99,49	59	0,014986	0,007493	0,000369
20	19 080	105,22	63	0,016002	0,008001	0,000394
21	20 020	110,41	67	0,017018	0,008509	0,000419
22	21 040	116,03	71	0,018034	0,009017	0,000444
23	22 010	121,38	75	0,019050	0,009525	0,000469
24	23 050	127,12	79	0,020066	0,010033	0,000494
25	24 090	132,85	84	0,021336	0,010668	0,000525
26	25 050	138,15	87	0,022098	0,011049	0,000544
27	26 080	143,83	92	0,023368	0,011684	0,000575

Gráfico 58. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	11,14		132,63	0,000522
0,000050	σ (0,00005)		137,692	ε 0,4σmax
0,0000563	17,04		138,04	0,000538
σ (0,00005)=	15,86	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000537
Ec1=	**250 297,32**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	11,20		132,85	0,000525
0,000050	σ (0,00005)		137,692	ε 0,4σmax
0,0000563	16,88		138,15	0,000544
σ (0,00005)=	15,45	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000542
Ec2=	**248 256,95**	**kgf/cm²**		

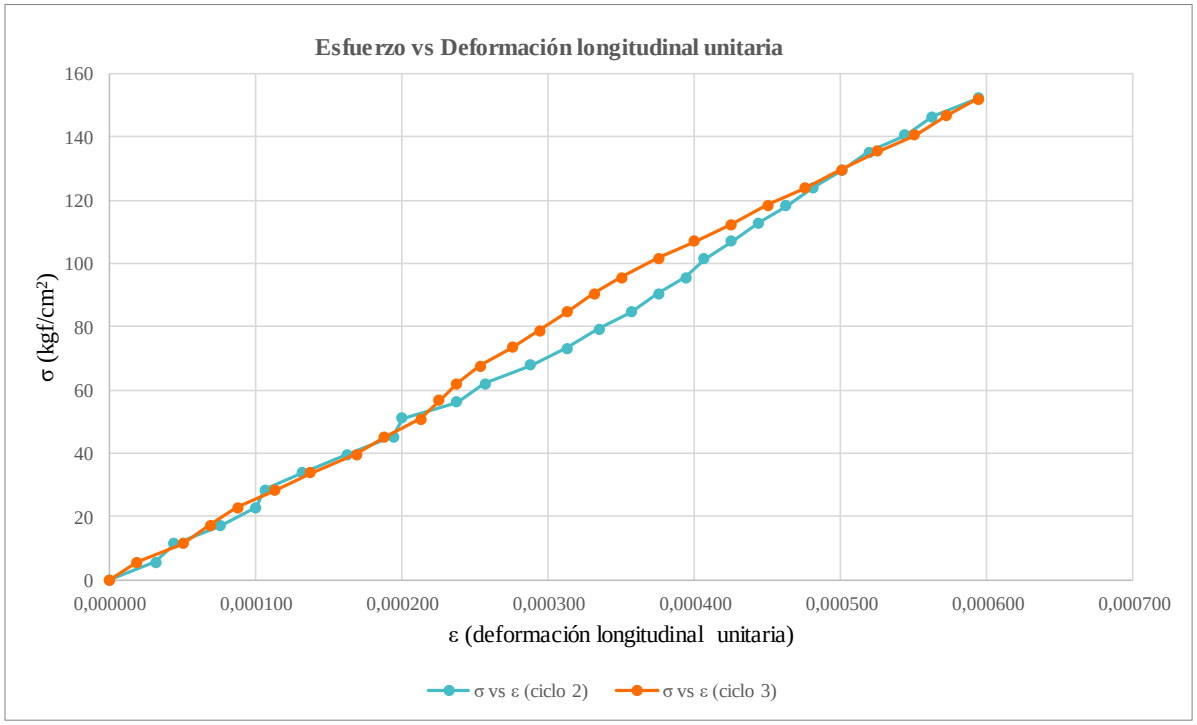
Tabla 89. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,50-1	**Resistencia máxima:**	357,39	kgf/cm²
Edad:	33 dias	**Carga de rotura:**	63 577,77	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,05	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	177,89	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,68	5	0,001270	0,000635	0,000031
3	2 030	11,41	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 040	17,09	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	4 060	22,82	16	0,004064	0,002032	0,000100
6	5 080	28,56	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 010	33,78	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	7 040	39,57	26	0,006604	0,003302	0,000163
9	8 060	45,31	31	0,007874	0,003937	0,000194
10	9 080	51,04	32	0,008128	0,004064	0,000200
11	10 020	56,33	38	0,009652	0,004826	0,000238
12	11 050	62,12	41	0,010414	0,005207	0,000256
13	12 070	67,85	46	0,011684	0,005842	0,000288
14	13 030	73,25	50	0,012700	0,006350	0,000313
15	14 090	79,20	53,5	0,013589	0,006795	0,000335
16	15 040	84,54	57	0,014478	0,007239	0,000356
17	16 080	90,39	60	0,015240	0,007620	0,000375
18	17 020	95,67	63	0,016002	0,008001	0,000394
19	18 060	101,52	65	0,016510	0,008255	0,000406
20	19 030	106,97	68	0,017272	0,008636	0,000425
21	20 070	112,82	71	0,018034	0,009017	0,000444
22	21 010	118,10	74	0,018796	0,009398	0,000463
23	22 090	124,17	77	0,019558	0,009779	0,000481
24	23 040	129,51	80	0,020320	0,010160	0,000500
25	24 080	135,36	83	0,021082	0,010541	0,000519
26	25 020	140,65	87	0,022098	0,011049	0,000544
27	26 050	146,43	90	0,022860	0,011430	0,000563
28	27 090	152,28	95	0,024130	0,012065	0,000594
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 000	5,62	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 030	11,41	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 060	17,20	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 090	22,99	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 020	28,22	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	6 040	33,95	22	0,005588	0,002794	0,000138
8	7 080	39,80	27	0,006858	0,003429	0,000169
9	8 020	45,08	30	0,007620	0,003810	0,000188
10	9 040	50,82	34	0,008636	0,004318	0,000213
11	10 080	56,66	36	0,009144	0,004572	0,000225
12	11 020	61,95	38	0,009652	0,004826	0,000238
13	12 050	67,74	40,5	0,010287	0,005144	0,000253
14	13 090	73,58	44	0,011176	0,005588	0,000275
15	14 030	78,87	47	0,011938	0,005969	0,000294
16	15 060	84,66	50	0,012700	0,006350	0,000313
17	16 090	90,45	53	0,013462	0,006731	0,000331
18	17 020	95,67	56	0,014224	0,007112	0,000350
19	18 070	101,58	60	0,015240	0,007620	0,000375
20	19 040	107,03	64	0,016256	0,008128	0,000400
21	20 010	112,48	68	0,017272	0,008636	0,000425
22	21 080	118,50	72	0,018288	0,009144	0,000450
23	22 020	123,78	76	0,019304	0,009652	0,000475
24	23 050	129,57	80	0,020320	0,010160	0,000500
25	24 090	135,42	84	0,021336	0,010668	0,000525
26	25 010	140,59	88	0,022352	0,011176	0,000550
27	26 070	146,55	91,5	0,023241	0,011621	0,000572
28	27 030	151,94	95	0,024130	0,012065	0,000594

Gráfico 59. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	5,68		146,43	0,000563
0,000050	σ (0,00005)		142,956	ε 0,4σmax
0,0000438	11,41		152,28	0,000594
σ (0,00005)=	14,27	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000544
Ec1=	**260 414,12**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000188	5,62		146,55	0,000572
0,000050	σ (0,00005)		142,956	ε 0,4σmax
0,0000500	11,41		151,94	0,000594
σ (0,00005)=	11,41	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000558
Ec2=	**259 163,84**	**kgf/cm²**		

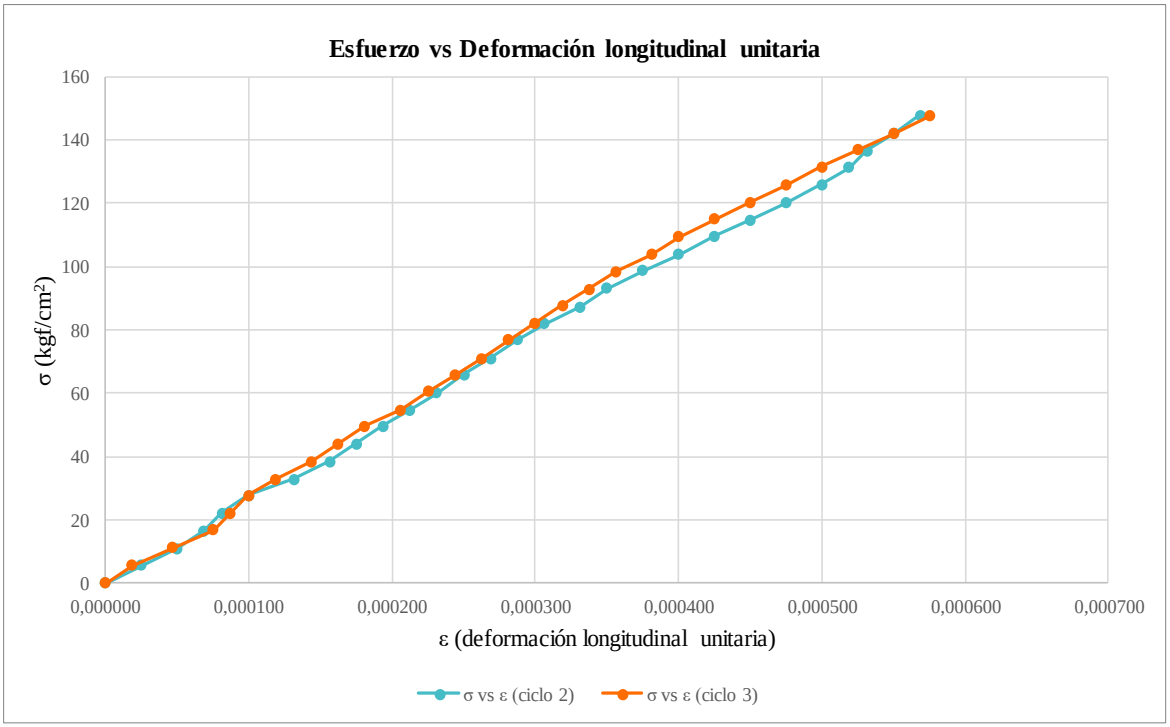
Tabla 90. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,50-2	**Resistencia máxima:**	357,39	kgf/cm²
Edad:	33 dias	**Carga de rotura:**	65 540,15	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,28	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	183,39	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,51	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 020	11,02	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 040	16,58	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 060	22,14	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 080	27,70	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 020	32,83	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	7 040	38,39	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	8 060	43,95	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	9 080	49,51	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 040	54,75	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 010	60,04	37	0,009398	0,004699	0,000231
13	12 070	65,82	40	0,010160	0,005080	0,000250
14	13 020	71,00	43	0,010922	0,005461	0,000269
15	14 080	76,78	46	0,011684	0,005842	0,000288
16	15 030	81,96	49	0,012446	0,006223	0,000306
17	16 010	87,30	53	0,013462	0,006731	0,000331
18	17 050	92,97	56	0,014224	0,007112	0,000350
19	18 090	98,64	60	0,015240	0,007620	0,000375
20	19 030	103,77	64	0,016256	0,008128	0,000400
21	20 080	109,50	68	0,017272	0,008636	0,000425
22	21 040	114,73	72	0,018288	0,009144	0,000450
23	22 010	120,02	76	0,019304	0,009652	0,000475
24	23 090	125,91	80	0,020320	0,010160	0,000500
25	24 050	131,14	83	0,021082	0,010541	0,000519
26	25 030	136,49	85	0,021590	0,010795	0,000531
27	26 010	141,83	88	0,022352	0,011176	0,000550
28	27 080	147,67	91	0,023114	0,011557	0,000569
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,56	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 030	11,07	7,5	0,001905	0,000953	0,000047
4	3 050	16,63	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	4 070	22,19	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 090	27,76	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 010	32,77	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 030	38,33	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 050	43,90	26	0,006604	0,003302	0,000163
10	9 070	49,46	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	10 020	54,64	33	0,008382	0,004191	0,000206
12	11 080	60,42	36	0,009144	0,004572	0,000225
13	12 030	65,60	39	0,009906	0,004953	0,000244
14	13 010	70,94	42	0,010668	0,005334	0,000263
15	14 060	76,67	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 040	82,01	48	0,012192	0,006096	0,000300
17	16 070	87,63	51	0,012954	0,006477	0,000319
18	17 020	92,81	54	0,013716	0,006858	0,000338
19	18 040	98,37	57	0,014478	0,007239	0,000356
20	19 010	103,66	61	0,015494	0,007747	0,000381
21	20 050	109,33	64	0,016256	0,008128	0,000400
22	21 090	115,00	68	0,017272	0,008636	0,000425
23	22 030	120,13	72	0,018288	0,009144	0,000450
24	23 010	125,47	76	0,019304	0,009652	0,000475
25	24 080	131,31	80	0,020320	0,010160	0,000500
26	25 060	136,65	84	0,021336	0,010668	0,000525
27	26 020	141,89	88	0,022352	0,011176	0,000550
28	27 040	147,45	92	0,023368	0,011684	0,000575

Gráfico 60. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,51		141,83	0,000550
0,000050	σ (0,00005)		142,956	ε 0,4σmax
0,0000500	11,02		147,67	0,000569
σ (0,00005)=	11,02	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000554
Ec1=	**261 989,90**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000469	11,07		141,89	0,000550
0,000050	σ (0,00005)		142,956	ε 0,4σmax
0,0000750	16,63		147,45	0,000575
σ (0,00005)=	11,69	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000555
Ec2=	**260 037,69**	**kgf/cm²**		

Tabla 91. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*

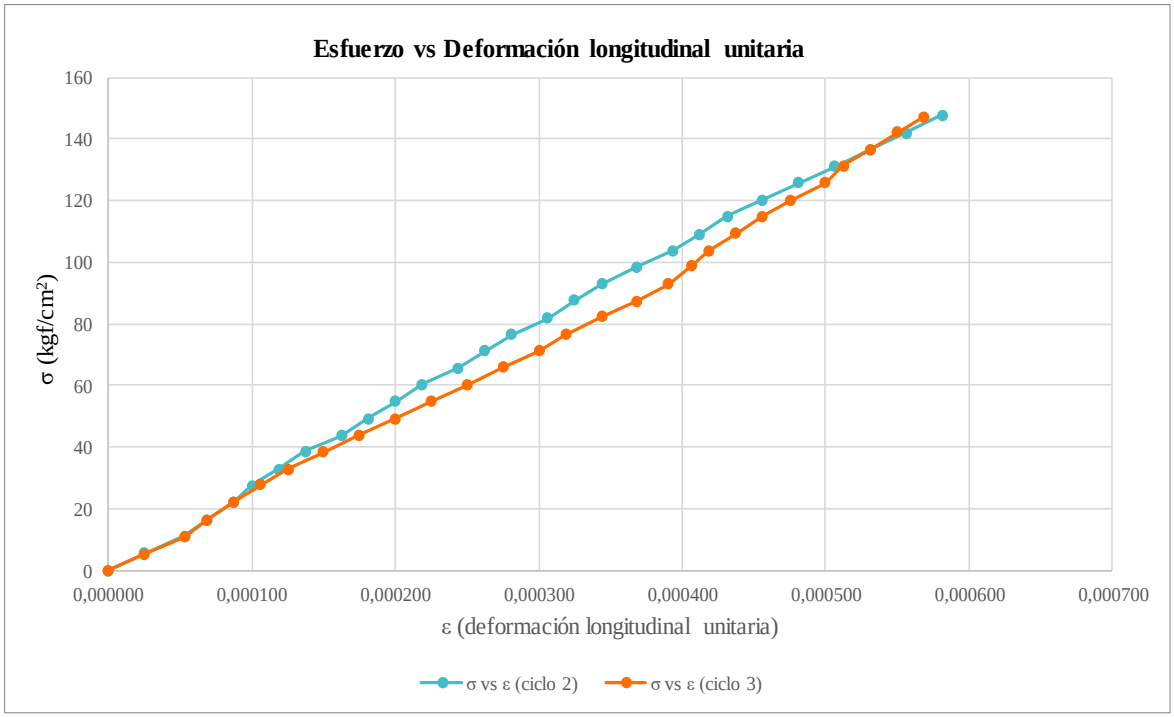
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,50-3	**Resistencia máxima:**	357,39	kgf/cm²
Edad:	33 dias	**Carga de rotura:**	65 531,57	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,28	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	183,36	cm^2

Ciclo 2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,51	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 040	11,13	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
4	3 020	16,47	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 080	22,25	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 060	27,60	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	32,89	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 090	38,67	22	0,005588	0,002794	0,000138
9	8 010	43,68	26	0,006604	0,003302	0,000163
10	9 050	49,36	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	10 030	54,70	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	11 050	60,26	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 020	65,55	39	0,009906	0,004953	0,000244
14	13 080	71,33	42	0,010668	0,005334	0,000263
15	14 040	76,57	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 010	81,86	49	0,012446	0,006223	0,000306
17	16 090	87,75	52	0,013208	0,006604	0,000325
18	17 030	92,88	55	0,013970	0,006985	0,000344
19	18 070	98,55	59	0,014986	0,007493	0,000369
20	19 040	103,84	63	0,016002	0,008001	0,000394
21	20 010	109,13	66	0,016764	0,008382	0,000413
22	21 080	114,96	69	0,017526	0,008763	0,000431
23	22 030	120,15	73	0,018542	0,009271	0,000456
24	23 070	125,82	77	0,019558	0,009779	0,000481
25	24 010	130,94	81	0,020574	0,010287	0,000506
26	25 060	136,67	85	0,021590	0,010795	0,000531
27	26 020	141,91	89	0,022606	0,011303	0,000556
28	27 090	147,74	93	0,023622	0,011811	0,000581
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 000	5,45	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 020	11,02	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
4	3 040	16,58	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 070	22,20	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 090	27,76	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 020	32,83	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 040	38,39	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	8 080	44,07	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	9 020	49,19	32	0,008128	0,004064	0,000200
11	10 060	54,86	36	0,009144	0,004572	0,000225
12	11 030	60,15	40	0,010160	0,005080	0,000250
13	12 080	65,88	44	0,011176	0,005588	0,000275
14	13 050	71,17	48	0,012192	0,006096	0,000300
15	14 010	76,41	51	0,012954	0,006477	0,000319
16	15 090	82,30	55	0,013970	0,006985	0,000344
17	16 020	87,37	59	0,014986	0,007493	0,000369
18	17 060	93,04	62,5	0,015875	0,007938	0,000391
19	18 090	98,66	65	0,016510	0,008255	0,000406
20	19 020	103,73	67	0,017018	0,008509	0,000419
21	20 040	109,29	70	0,017780	0,008890	0,000438
22	21 070	114,91	73	0,018542	0,009271	0,000456
23	22 010	120,04	76	0,019304	0,009652	0,000475
24	23 040	125,65	80	0,020320	0,010160	0,000500
25	24 090	131,38	82	0,020828	0,010414	0,000513
26	25 030	136,51	85	0,021590	0,010795	0,000531
27	26 080	142,23	88	0,022352	0,011176	0,000550
28	27 010	147,30	91	0,023114	0,011557	0,000569

Gráfico 61. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,51		141,91	0,000556
0,000050	σ (0,00005)		142,956	ε 0,4σmax
0,0000531	11,13		147,74	0,000581
σ (0,00005)=	10,50	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000561
Ec1=	**259 333,17**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,45		142,23	0,000550
0,000050	σ (0,00005)		142,956	ε 0,4σmax
0,0000531	11,02		147,30	0,000569
σ (0,00005)=	10,40	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000553
Ec2=	**263 704,93**	**kgf/cm²**		

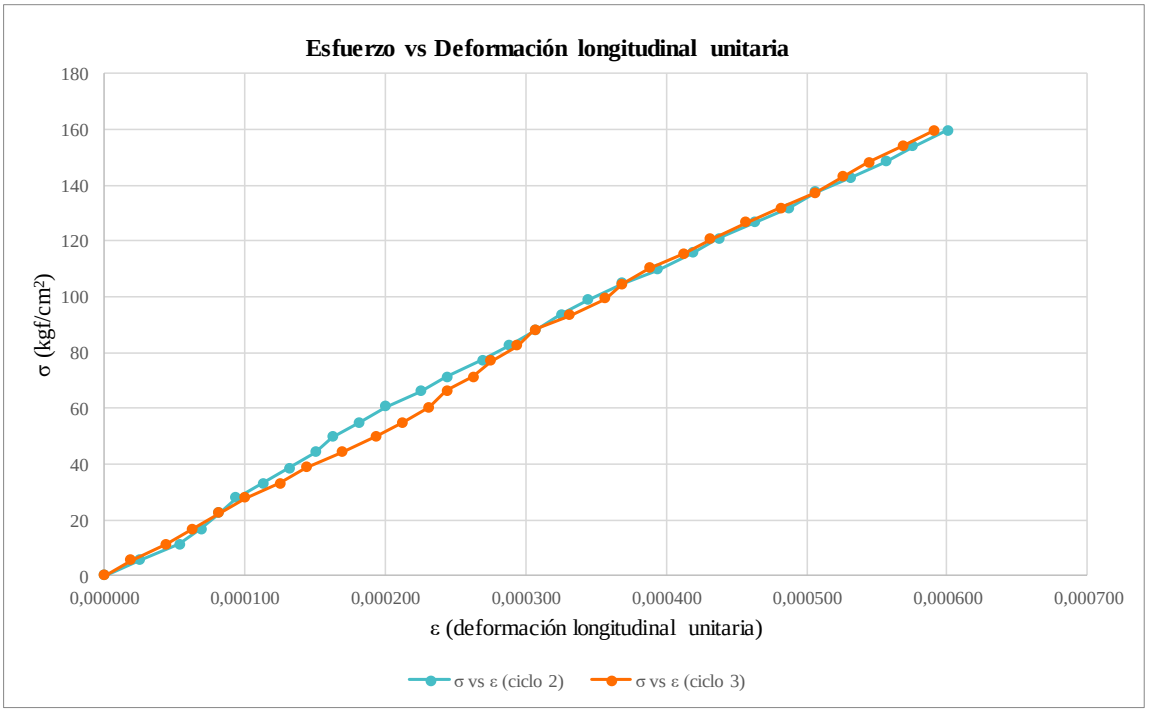
Tabla 92. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,50-1	**Resistencia máxima:**	395,21	kgf/cm²
Edad:	33 días	**Carga de rotura:**	72 059,00	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,24	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	182,33	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,54	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 030	11,13	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
4	3 040	16,67	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 070	22,32	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 090	27,92	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 020	33,02	18	0,004572	0,002286	0,000113
8	7 040	38,61	21	0,005334	0,002667	0,000131
9	8 050	44,15	24	0,006096	0,003048	0,000150
10	9 070	49,74	26	0,006604	0,003302	0,000163
11	10 020	54,96	29	0,007366	0,003683	0,000181
12	11 030	60,49	32	0,008128	0,004064	0,000200
13	12 050	66,09	36	0,009144	0,004572	0,000225
14	13 010	71,35	39	0,009906	0,004953	0,000244
15	14 070	77,17	43	0,010922	0,005461	0,000269
16	15 040	82,49	46	0,011684	0,005842	0,000288
17	16 020	87,86	49	0,012446	0,006223	0,000306
18	17 080	93,68	52	0,013208	0,006604	0,000325
19	18 030	98,89	55	0,013970	0,006985	0,000344
20	19 090	104,70	59	0,014986	0,007493	0,000369
21	20 010	109,75	63	0,016002	0,008001	0,000394
22	21 070	115,56	67	0,017018	0,008509	0,000419
23	22 030	120,82	70	0,017780	0,008890	0,000438
24	23 080	126,58	74	0,018796	0,009398	0,000463
25	24 010	131,68	78	0,019812	0,009906	0,000488
26	25 060	137,44	81	0,020574	0,010287	0,000506
27	26 020	142,71	85	0,021590	0,010795	0,000532
28	27 080	148,52	89	0,022606	0,011303	0,000557
29	28 040	153,79	92	0,023368	0,011684	0,000575
30	29 090	159,55	96	0,024384	0,012192	0,000600
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,59	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 040	11,19	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 050	16,73	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 070	22,32	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 090	27,92	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	33,07	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 050	38,67	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 070	44,26	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 090	49,85	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 030	55,01	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 020	60,44	37	0,009398	0,004699	0,000231
13	12 080	66,25	39	0,009906	0,004953	0,000244
14	13 010	71,35	42	0,010668	0,005334	0,000263
15	14 050	77,06	44	0,011176	0,005588	0,000275
16	15 030	82,43	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	16 070	88,14	49	0,012446	0,006223	0,000306
18	17 020	93,35	53	0,013462	0,006731	0,000331
19	18 090	99,22	57	0,014478	0,007239	0,000356
20	19 030	104,37	59	0,014986	0,007493	0,000369
21	20 080	110,13	62	0,015748	0,007874	0,000388
22	21 040	115,39	66	0,016764	0,008382	0,000413
23	22 010	120,71	69	0,017526	0,008763	0,000431
24	23 090	126,64	73	0,018542	0,009271	0,000456
25	24 050	131,90	77	0,019558	0,009779	0,000481
26	25 020	137,22	81	0,020574	0,010287	0,000506
27	26 080	143,04	84	0,021336	0,010668	0,000525
28	27 030	148,25	87	0,022098	0,011049	0,000544
29	28 080	154,01	91	0,023114	0,011557	0,000569
30	29 090	159,55	94,5	0,024003	0,012002	0,000591

Gráfico 62. P*rimer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,54		153,79	0,000575
0,000050	σ (0,00005)		158,084	ε 0,4σmax
0,0000532	11,13		159,55	0,000600
σ (0,00005)=	10,51	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000594
Ec1=	**271 306,22**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,19		154,01	0,000569
0,000050	σ (0,00005)		158,084	ε 0,4σmax
0,0000625	16,73		159,55	0,000591
σ (0,00005)=	13,03	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000585
Ec2=	**271 060,85**	**kgf/cm²**		

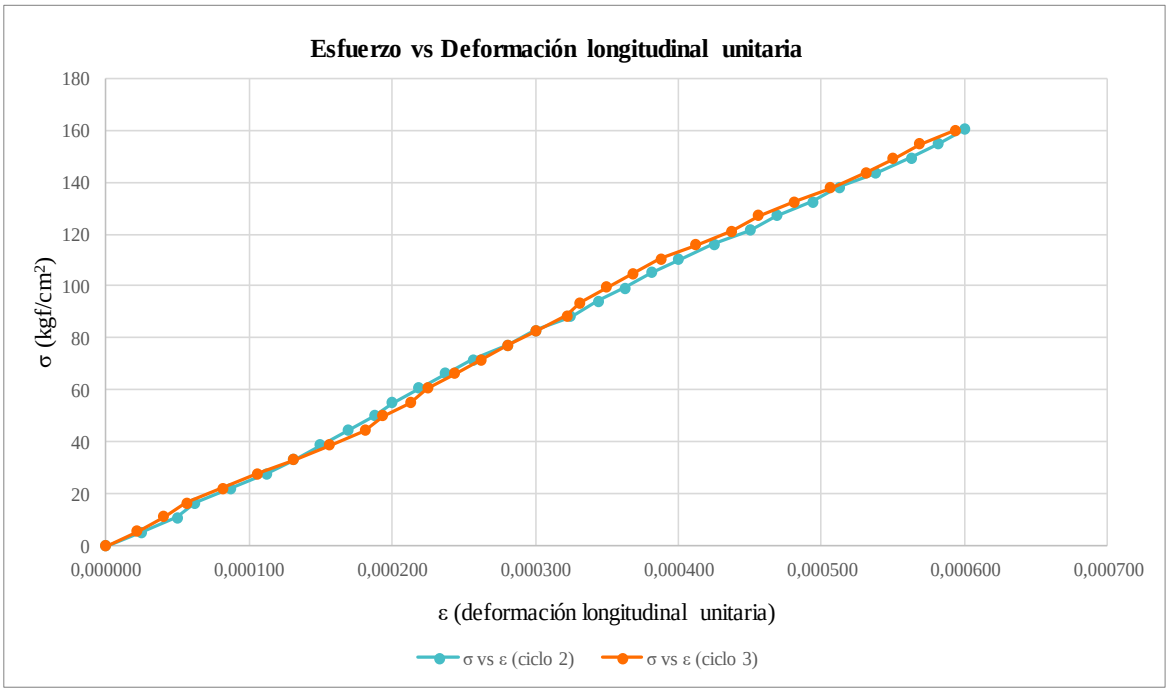
Tabla 93. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,50-2	**Resistencia máxima:**	395,21	kgf/cm²
Edad:	33 días	**Carga de rotura:**	71 766,08	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,21	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	181,59	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,56	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 030	11,18	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 040	16,74	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 070	22,41	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 080	27,98	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	6 020	33,15	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	7 040	38,77	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	8 060	44,39	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 080	50,00	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	10 020	55,18	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	11 030	60,74	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 050	66,36	38	0,009652	0,004826	0,000238
14	13 010	71,65	41	0,010414	0,005207	0,000256
15	14 070	77,48	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 040	82,82	48	0,012192	0,006096	0,000300
17	16 020	88,22	52	0,013208	0,006604	0,000325
18	17 080	94,06	55	0,013970	0,006985	0,000344
19	18 030	99,29	58	0,014732	0,007366	0,000363
20	19 090	105,13	61	0,015494	0,007747	0,000381
21	20 010	110,19	64	0,016256	0,008128	0,000400
22	21 070	116,03	68	0,017272	0,008636	0,000425
23	22 030	121,32	72	0,018288	0,009144	0,000450
24	23 080	127,10	75	0,019050	0,009525	0,000469
25	24 010	132,22	79	0,020066	0,010033	0,000494
26	25 060	138,00	82	0,020828	0,010414	0,000513
27	26 020	143,29	86	0,021844	0,010922	0,000538
28	27 080	149,13	90	0,022860	0,011430	0,000563
29	28 040	154,41	93	0,023622	0,011811	0,000581
30	29 090	160,20	96	0,024384	0,012192	0,000600
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,62	3,5	0,000889	0,000445	0,000022
3	2 040	11,23	6,5	0,001651	0,000826	0,000041
4	3 050	16,80	9	0,002286	0,001143	0,000056
5	4 070	22,41	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 090	28,03	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 030	33,21	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	7 050	38,82	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	8 070	44,44	29	0,007366	0,003683	0,000181
10	9 090	50,06	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 030	55,23	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 020	60,69	36	0,009144	0,004572	0,000225
13	12 080	66,52	39	0,009906	0,004953	0,000244
14	13 010	71,65	42	0,010668	0,005334	0,000263
15	14 050	77,37	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 030	82,77	48	0,012192	0,006096	0,000300
17	16 070	88,50	51,5	0,013081	0,006541	0,000322
18	17 020	93,73	53	0,013462	0,006731	0,000331
19	18 090	99,62	56	0,014224	0,007112	0,000350
20	19 030	104,80	59	0,014986	0,007493	0,000369
21	20 080	110,58	62	0,015748	0,007874	0,000388
22	21 040	115,87	66	0,016764	0,008382	0,000413
23	22 010	121,21	70	0,017780	0,008890	0,000438
24	23 090	127,15	73	0,018542	0,009271	0,000456
25	24 050	132,44	77	0,019558	0,009779	0,000481
26	25 020	137,78	81	0,020574	0,010287	0,000506
27	26 080	143,62	85	0,021590	0,010795	0,000531
28	27 030	148,85	88	0,022352	0,011176	0,000550
29	28 070	154,58	91	0,023114	0,011557	0,000569
30	29 010	159,76	95	0,024130	0,012065	0,000594

Gráfico 63. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,56		154,41	0,000581
0,000050	σ (0,00005)		158,084	ε 0,4σmax
0,0000500	11,18		160,20	0,000600
σ (0,00005)=	11,18	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000593
Ec1=	**270 468,20**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000406	11,23		154,58	0,000569
0,000050	σ (0,00005)		158,084	ε 0,4σmax
0,0000563	16,80		159,76	0,000594
σ (0,00005)=	14,57	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000586
Ec2=	**267 909,32**	**kgf/cm²**		

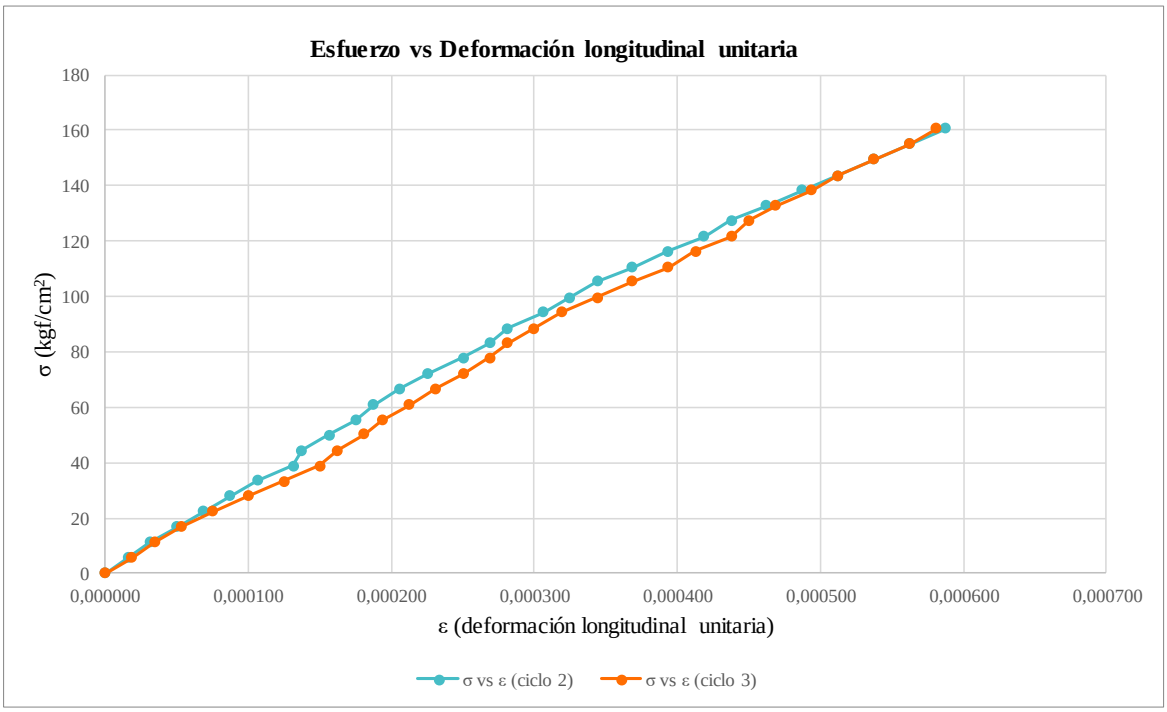
Tabla 94. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,50-3	**Resistencia máxima:**	395,21	kgf/cm²
Edad:	33 días	**Carga de rotura:**	71 516,15	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	1/10/2025	**Diámetro:**	15,18	cm
Fecha de ensayo:	3/11/2025	**Área:**	180,96	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,64	2,5	0,000635	0,000318	0,000016
3	2 030	11,22	5	0,001270	0,000635	0,000031
4	3 050	16,85	8	0,002032	0,001016	0,000050
5	4 060	22,44	11	0,002794	0,001397	0,000069
6	5 070	28,02	14	0,003556	0,001778	0,000088
7	6 090	33,65	17	0,004318	0,002159	0,000106
8	7 010	38,74	21	0,005334	0,002667	0,000131
9	8 040	44,43	22	0,005588	0,002794	0,000138
10	9 050	50,01	25	0,006350	0,003175	0,000156
11	10 020	55,37	28	0,007112	0,003556	0,000175
12	11 030	60,95	30	0,007620	0,003810	0,000188
13	12 050	66,59	33	0,008382	0,004191	0,000206
14	13 010	71,90	36	0,009144	0,004572	0,000225
15	14 070	77,75	40	0,010160	0,005080	0,000250
16	15 040	83,11	43	0,010922	0,005461	0,000269
17	16 020	88,53	45	0,011430	0,005715	0,000281
18	17 080	94,39	49	0,012446	0,006223	0,000306
19	18 030	99,64	52	0,013208	0,006604	0,000325
20	19 090	105,49	55	0,013970	0,006985	0,000344
21	20 010	110,58	59	0,014986	0,007493	0,000369
22	21 070	116,44	63	0,016002	0,008001	0,000394
23	22 030	121,74	67	0,017018	0,008509	0,000419
24	23 080	127,54	70	0,017780	0,008890	0,000438
25	24 010	132,68	74	0,018796	0,009398	0,000463
26	25 060	138,49	78	0,019812	0,009906	0,000488
27	26 020	143,79	82	0,020828	0,010414	0,000513
28	27 080	149,65	86	0,021844	0,010922	0,000538
29	28 040	154,95	90	0,022860	0,011430	0,000563
30	29 090	160,76	94	0,023876	0,011938	0,000588
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,58	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 030	11,22	5,5	0,001397	0,000699	0,000034
4	3 040	16,80	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
5	4 070	22,49	12	0,003048	0,001524	0,000075
6	5 080	28,07	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 020	33,27	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 040	38,90	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	8 060	44,54	26	0,006604	0,003302	0,000163
10	9 080	50,18	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	10 020	55,37	31	0,007874	0,003937	0,000194
12	11 030	60,95	34	0,008636	0,004318	0,000213
13	12 050	66,59	37	0,009398	0,004699	0,000231
14	13 010	71,90	40	0,010160	0,005080	0,000250
15	14 070	77,75	43	0,010922	0,005461	0,000269
16	15 040	83,11	45	0,011430	0,005715	0,000281
17	16 020	88,53	48	0,012192	0,006096	0,000300
18	17 080	94,39	51	0,012954	0,006477	0,000319
19	18 030	99,64	55	0,013970	0,006985	0,000344
20	19 090	105,49	59	0,014986	0,007493	0,000369
21	20 010	110,58	63	0,016002	0,008001	0,000394
22	21 070	116,44	66	0,016764	0,008382	0,000413
23	22 030	121,74	70	0,017780	0,008890	0,000438
24	23 080	127,54	72	0,018288	0,009144	0,000450
25	24 010	132,68	75	0,019050	0,009525	0,000469
26	25 060	138,49	79	0,020066	0,010033	0,000494
27	26 020	143,79	82	0,020828	0,010414	0,000513
28	27 080	149,65	86	0,021844	0,010922	0,000538
29	28 040	154,95	90	0,022860	0,011430	0,000563
30	29 090	160,76	93	0,023622	0,011811	0,000581

Gráfico 64. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	11,22		154,95	0,000563
0,000050	σ (0,00005)		158,084	ε 0,4σmax
0,0000500	16,85		160,76	0,000588
σ (0,00005)=	16,85	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000576
Ec1=	**268 503,14**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000344	11,22		154,95	0,000563
0,000050	σ (0,00005)		158,084	ε 0,4σmax
0,0000531	16,80		160,76	0,000581
σ (0,00005)=	15,87	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000573
Ec2=	**272 121,16**	**kgf/cm²**		

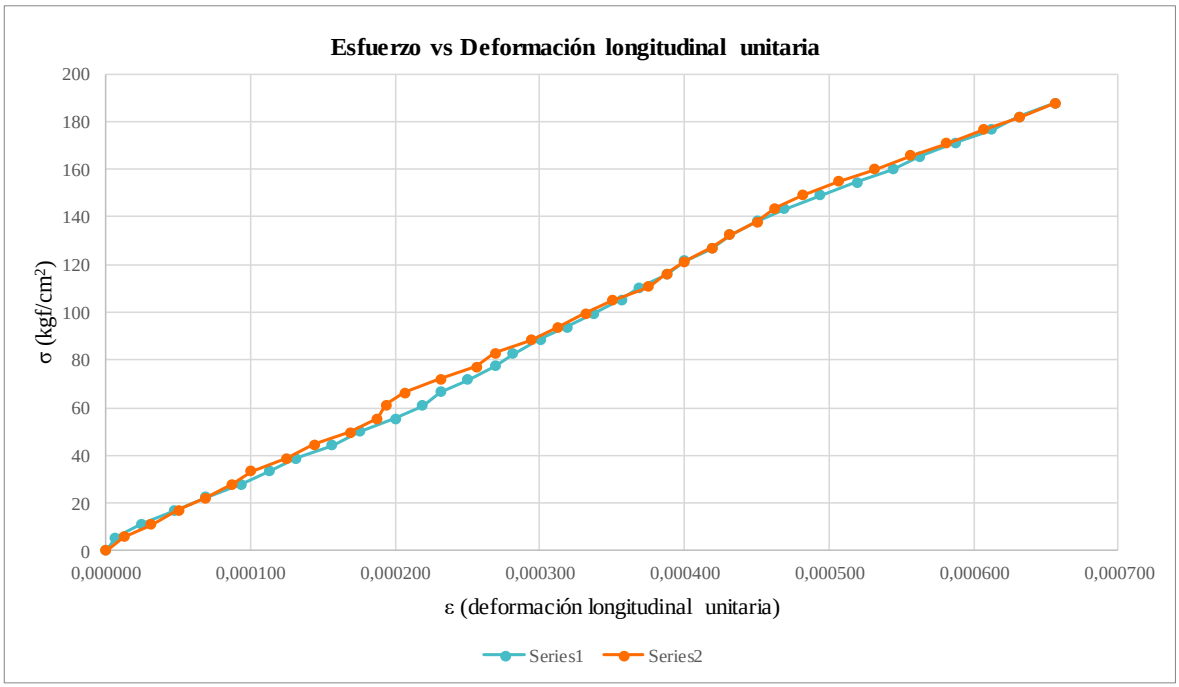
Tabla 95. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	10%-0,50-1	**Resistencia máxima:**	462,36	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	83 954,31	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	3/10/2025	**Diámetro:**	15,21	cm
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	181,58	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,67	1	0,000254	0,000127	0,000006
3	2 070	11,40	4	0,001016	0,000508	0,000025
4	3 040	16,74	7,5	0,001905	0,000953	0,000047
5	4 060	22,36	11	0,002794	0,001397	0,000069
6	5 090	28,03	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 030	33,21	18	0,004572	0,002286	0,000113
8	7 060	38,88	21	0,005334	0,002667	0,000131
9	8 020	44,17	25	0,006350	0,003175	0,000156
10	9 050	49,84	28	0,007112	0,003556	0,000175
11	10 080	55,51	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	11 040	60,80	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 090	66,58	37	0,009398	0,004699	0,000231
14	13 020	71,70	40	0,010160	0,005080	0,000250
15	14 070	77,49	43	0,010922	0,005461	0,000269
16	15 010	82,66	45	0,011430	0,005715	0,000281
17	16 080	88,56	48	0,012192	0,006096	0,000300
18	17 030	93,79	51	0,012954	0,006477	0,000319
19	18 060	99,46	54	0,013716	0,006858	0,000338
20	19 090	105,13	57	0,014478	0,007239	0,000356
21	20 040	110,37	59	0,014986	0,007493	0,000369
22	21 020	115,76	62	0,015748	0,007874	0,000388
23	22 080	121,60	64	0,016256	0,008128	0,000400
24	23 010	126,72	67	0,017018	0,008509	0,000419
25	24 050	132,45	69	0,017526	0,008763	0,000431
26	25 070	138,07	72	0,018288	0,009144	0,000450
27	26 030	143,35	75	0,019050	0,009525	0,000469
28	27 090	149,19	79	0,020066	0,010033	0,000494
29	28 040	154,42	83	0,021082	0,010541	0,000519
30	29 060	160,04	87	0,022098	0,011049	0,000544
31	30 020	165,33	90	0,022860	0,011430	0,000563
32	31 080	171,17	94	0,023876	0,011938	0,000588
33	32 050	176,51	98	0,024892	0,012446	0,000613
34	33 030	181,91	101	0,025654	0,012827	0,000632
35	34 070	187,63	105	0,026670	0,013335	0,000657
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,84	2	0,000508	0,000254	0,000013
3	2 020	11,12	5	0,001270	0,000635	0,000031
4	3 090	17,02	8	0,002032	0,001016	0,000050
5	4 010	22,08	11	0,002794	0,001397	0,000069
6	5 070	27,92	14	0,003556	0,001778	0,000088
7	6 040	33,26	16	0,004064	0,002032	0,000100
8	7 030	38,72	20	0,005080	0,002540	0,000125
9	8 080	44,50	23	0,005842	0,002921	0,000144
10	9 020	49,68	27	0,006858	0,003429	0,000169
11	10 050	55,35	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 090	61,08	31	0,007874	0,003937	0,000194
13	12 030	66,25	33	0,008382	0,004191	0,000206
14	13 080	72,04	37	0,009398	0,004699	0,000231
15	14 020	77,21	41	0,010414	0,005207	0,000256
16	15 060	82,94	43	0,010922	0,005461	0,000269
17	16 010	88,17	47	0,011938	0,005969	0,000294
18	17 040	93,84	50	0,012700	0,006350	0,000313
19	18 070	99,52	53	0,013462	0,006731	0,000331
20	19 030	104,80	56	0,014224	0,007112	0,000350
21	20 080	110,59	60	0,015240	0,007620	0,000375
22	21 090	116,15	62	0,015748	0,007874	0,000388
23	22 010	121,22	64	0,016256	0,008128	0,000400
24	23 070	127,05	67	0,017018	0,008509	0,000419
25	24 020	132,28	69	0,017526	0,008763	0,000431
26	25 040	137,90	72	0,018288	0,009144	0,000450
27	26 080	143,63	74	0,018796	0,009398	0,000463
28	27 050	148,97	77	0,019558	0,009779	0,000481
29	28 090	154,70	81	0,020574	0,010287	0,000506
30	29 030	159,88	85	0,021590	0,010795	0,000532
31	30 070	165,60	89	0,022606	0,011303	0,000557
32	31 020	170,84	93	0,023622	0,011811	0,000582
33	32 060	176,56	97	0,024638	0,012319	0,000607
34	33 010	181,80	101	0,025654	0,012827	0,000632
35	34 090	187,74	105	0,026670	0,013335	0,000657

Gráfico 65. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax		
ε	σ		σ	ε	
0,0000469	16,74		181,91	0,000632	
0,000050	σ (0,00005)		184,944	ε 0,4σmax	
0,0000688	22,36		187,63	0,000657	
σ (0,00005)=	17,54	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000645	
Ec1=	**281 434,56**	**kgf/cm²**			

Ciclo 3					
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax		
ε	σ		σ	ε	
0,0000313	11,12		181,80	0,000632	
0,000050	σ (0,00005)		184,944	ε 0,4σmax	
0,0000500	17,02		187,74	0,000657	
σ (0,00005)=	17,01	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000645	
Ec2=	**282 336,53**	**kgf/cm²**			

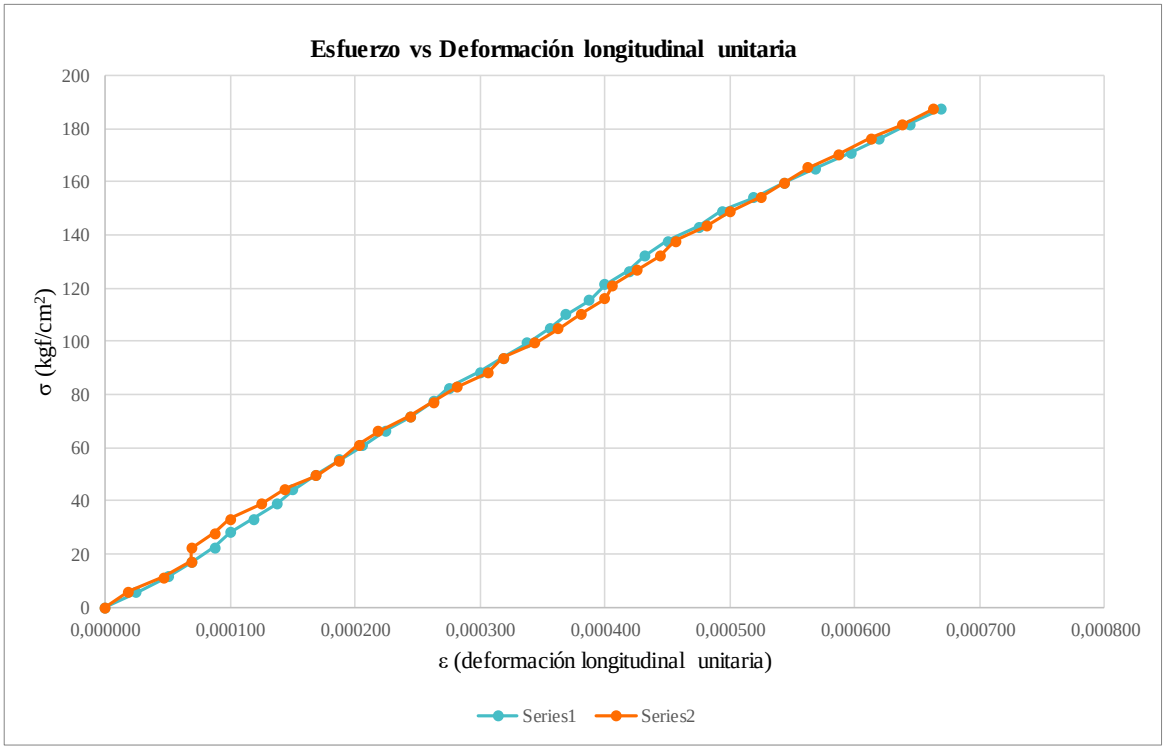
Tabla 96. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo				
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático				
Norma:	ASTM C469				
Lugar:	Cusco				
Muestra:	10%-0,50-2	**Resistencia máxima:**	462,36	kgf/cm²	
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	84 120,03	kg	
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm	
F. de elaboración:	3/10/2025	**Diámetro:**	15,22	cm	
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	181,94	cm²	

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,66	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 070	11,38	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 040	16,71	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 060	22,32	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 090	27,98	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	33,14	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 060	38,80	22	0,005588	0,002794	0,000138
9	8 020	44,08	24	0,006096	0,003048	0,000150
10	9 050	49,74	27	0,006858	0,003429	0,000169
11	10 080	55,40	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 040	60,68	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 090	66,45	36	0,009144	0,004572	0,000225
14	13 020	71,56	39	0,009906	0,004953	0,000244
15	14 070	77,33	42	0,010668	0,005334	0,000263
16	15 010	82,50	44	0,011176	0,005588	0,000275
17	16 080	88,38	48	0,012192	0,006096	0,000300
18	17 030	93,60	51	0,012954	0,006477	0,000319
19	18 060	99,27	54	0,013716	0,006858	0,000338
20	19 090	104,93	57	0,014478	0,007239	0,000356
21	20 040	110,15	59	0,014986	0,007493	0,000369
22	21 020	115,53	62	0,015748	0,007874	0,000388
23	22 080	121,36	64	0,016256	0,008128	0,000400
24	23 010	126,47	67	0,017018	0,008509	0,000419
25	24 050	132,19	69	0,017526	0,008763	0,000431
26	25 070	137,80	72	0,018288	0,009144	0,000450
27	26 030	143,07	76	0,019304	0,009652	0,000475
28	27 090	148,90	79	0,020066	0,010033	0,000494
29	28 040	154,12	83	0,021082	0,010541	0,000519
30	29 060	159,73	87	0,022098	0,011049	0,000544
31	30 020	165,00	91	0,023114	0,011557	0,000569
32	31 080	170,83	95,5	0,024257	0,012129	0,000597
33	32 050	176,16	99	0,025146	0,012573	0,000619
34	33 030	181,55	103	0,026162	0,013081	0,000644
35	34 070	187,26	107	0,027178	0,013589	0,000669
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,83	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 020	11,10	7,5	0,001905	0,000953	0,000047
4	3 090	16,98	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 010	22,04	11	0,002794	0,001397	0,000069
6	5 070	27,87	14	0,003556	0,001778	0,000088
7	6 040	33,20	16	0,004064	0,002032	0,000100
8	7 030	38,64	20	0,005080	0,002540	0,000125
9	8 080	44,41	23	0,005842	0,002921	0,000144
10	9 020	49,58	27	0,006858	0,003429	0,000169
11	10 050	55,24	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 090	60,96	32,5	0,008255	0,004128	0,000203
13	12 030	66,12	35	0,008890	0,004445	0,000219
14	13 080	71,89	39	0,009906	0,004953	0,000244
15	14 020	77,06	42	0,010668	0,005334	0,000263
16	15 060	82,78	45	0,011430	0,005715	0,000281
17	16 010	88,00	49	0,012446	0,006223	0,000306
18	17 040	93,66	51	0,012954	0,006477	0,000319
19	18 070	99,32	55	0,013970	0,006985	0,000344
20	19 030	104,60	58	0,014732	0,007366	0,000363
21	20 080	110,37	61	0,015494	0,007747	0,000381
22	21 090	115,92	64	0,016256	0,008128	0,000400
23	22 010	120,98	65	0,016510	0,008255	0,000406
24	23 070	126,80	68	0,017272	0,008636	0,000425
25	24 020	132,02	71	0,018034	0,009017	0,000444
26	25 040	137,63	73	0,018542	0,009271	0,000456
27	26 080	143,35	77	0,019558	0,009779	0,000481
28	27 050	148,68	80	0,020320	0,010160	0,000500
29	28 090	154,39	84	0,021336	0,010668	0,000525
30	29 030	159,56	87	0,022098	0,011049	0,000544
31	30 070	165,28	90	0,022860	0,011430	0,000563
32	31 020	170,50	94	0,023876	0,011938	0,000588
33	32 060	176,22	98	0,024892	0,012446	0,000613
34	33 010	181,44	102	0,025908	0,012954	0,000638
35	34 090	187,37	106	0,026924	0,013462	0,000663

Fotografía 14. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,66		181,55	0,000644
0,000050	σ (0,00005)		184,944	ε 0,4σmax
0,0000500	11,38		187,26	0,000669
σ (0,00005)=	11,37	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000659
Ec1=	**285 044,10**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000469	11,10		181,44	0,000638
0,000050	σ (0,00005)		184,944	ε 0,4σmax
0,0000688	16,98		187,37	0,000663
σ (0,00005)=	11,94	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000653
Ec2=	**287 106,75**	**kgf/cm²**		

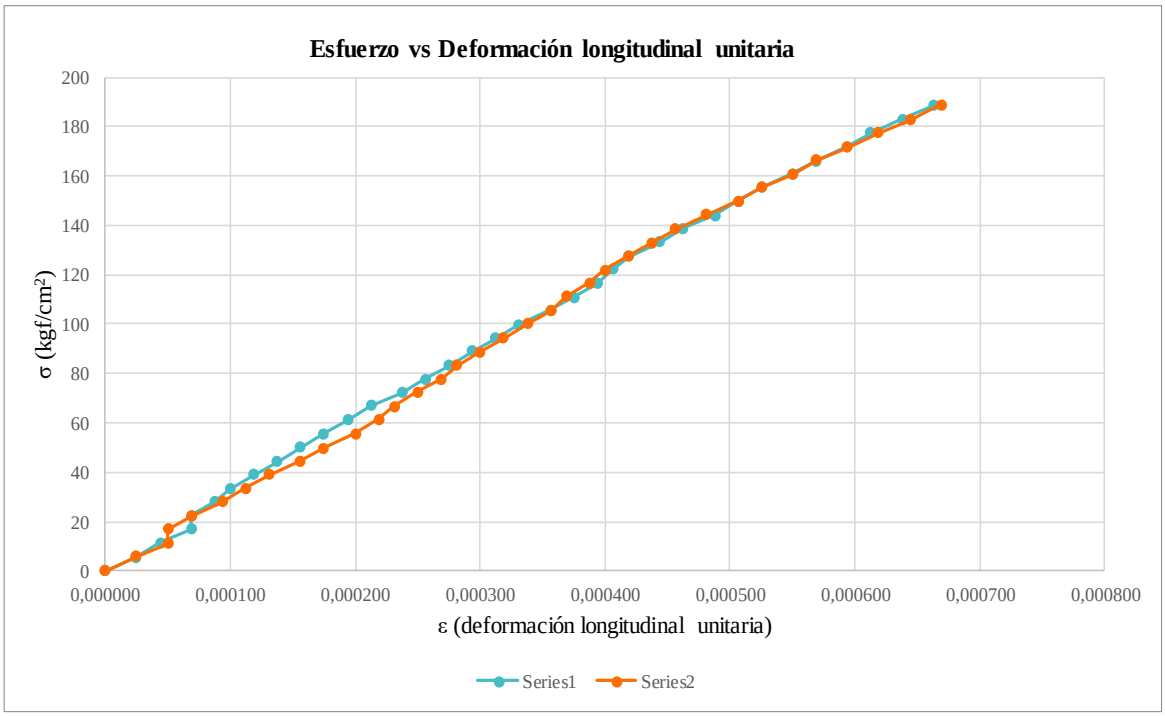
Tabla 97. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	10%-0,50-3	**Resistencia máxima:**	462,36	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	83 513,17	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	3/10/2025	**Diámetro:**	15,17	cm
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	180,62	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,70	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 070	11,46	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 040	16,83	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 060	22,48	11	0,002794	0,001397	0,000069
6	5 090	28,18	14	0,003556	0,001778	0,000088
7	6 030	33,38	16	0,004064	0,002032	0,000100
8	7 060	39,09	19	0,004826	0,002413	0,000119
9	8 020	44,40	22	0,005588	0,002794	0,000138
10	9 050	50,10	25	0,006350	0,003175	0,000156
11	10 080	55,81	28	0,007112	0,003556	0,000175
12	11 040	61,12	31	0,007874	0,003937	0,000194
13	12 090	66,93	34	0,008636	0,004318	0,000213
14	13 020	72,08	38	0,009652	0,004826	0,000238
15	14 070	77,90	41	0,010414	0,005207	0,000256
16	15 010	83,10	44	0,011176	0,005588	0,000275
17	16 080	89,02	47	0,011938	0,005969	0,000294
18	17 030	94,28	50	0,012700	0,006350	0,000313
19	18 060	99,99	53	0,013462	0,006731	0,000331
20	19 090	105,69	57	0,014478	0,007239	0,000356
21	20 040	110,95	60	0,015240	0,007620	0,000375
22	21 020	116,37	63	0,016002	0,008001	0,000394
23	22 080	122,24	65	0,016510	0,008255	0,000406
24	23 010	127,39	67	0,017018	0,008509	0,000419
25	24 050	133,15	71	0,018034	0,009017	0,000444
26	25 070	138,80	74	0,018796	0,009398	0,000463
27	26 030	144,11	78	0,019812	0,009906	0,000488
28	27 090	149,98	81	0,020574	0,010287	0,000506
29	28 040	155,24	84	0,021336	0,010668	0,000525
30	29 060	160,89	88	0,022352	0,011176	0,000550
31	30 020	166,20	91	0,023114	0,011557	0,000569
32	31 080	172,07	95	0,024130	0,012065	0,000594
33	32 050	177,44	98	0,024892	0,012446	0,000613
34	33 030	182,87	102	0,025908	0,012954	0,000638
35	34 070	188,62	106	0,026924	0,013462	0,000663
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,87	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 020	11,18	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 090	17,11	8	0,002032	0,001016	0,000050
5	4 010	22,20	11	0,002794	0,001397	0,000069
6	5 070	28,07	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 040	33,44	18	0,004572	0,002286	0,000113
8	7 030	38,92	21	0,005334	0,002667	0,000131
9	8 080	44,73	25	0,006350	0,003175	0,000156
10	9 020	49,94	28	0,007112	0,003556	0,000175
11	10 050	55,64	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	11 090	61,40	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 030	66,60	37	0,009398	0,004699	0,000231
14	13 080	72,42	40	0,010160	0,005080	0,000250
15	14 020	77,62	43	0,010922	0,005461	0,000269
16	15 060	83,38	45	0,011430	0,005715	0,000281
17	16 010	88,64	48	0,012192	0,006096	0,000300
18	17 040	94,34	51	0,012954	0,006477	0,000319
19	18 070	100,04	54	0,013716	0,006858	0,000338
20	19 030	105,36	57	0,014478	0,007239	0,000356
21	20 080	111,17	59	0,014986	0,007493	0,000369
22	21 090	116,76	62	0,015748	0,007874	0,000388
23	22 010	121,86	64	0,016256	0,008128	0,000400
24	23 070	127,72	67	0,017018	0,008509	0,000419
25	24 020	132,98	70	0,017780	0,008890	0,000438
26	25 040	138,63	73	0,018542	0,009271	0,000456
27	26 080	144,39	77	0,019558	0,009779	0,000481
28	27 050	149,76	81	0,020574	0,010287	0,000506
29	28 090	155,52	84	0,021336	0,010668	0,000525
30	29 030	160,72	88	0,022352	0,011176	0,000550
31	30 070	166,48	91	0,023114	0,011557	0,000569
32	31 020	171,74	95	0,024130	0,012065	0,000594
33	32 060	177,50	99	0,025146	0,012573	0,000619
34	33 010	182,76	103	0,026162	0,013081	0,000644
35	34 090	188,73	107	0,027178	0,013589	0,000669

Gráfico 66. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,46		182,87	0,000638
0,000050	σ (0,00005)		184,944	ε 0,4σmax
0,0000688	16,83		188,62	0,000663
σ (0,00005)=	12,80	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000647
Ec1=	**288 430,16**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,87		182,76	0,000644
0,000050	σ (0,00005)		184,944	ε 0,4σmax
0,0000500	11,18		188,73	0,000669
σ (0,00005)=	11,18	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000653
Ec2=	**288 063,09**	**kgf/cm²**		

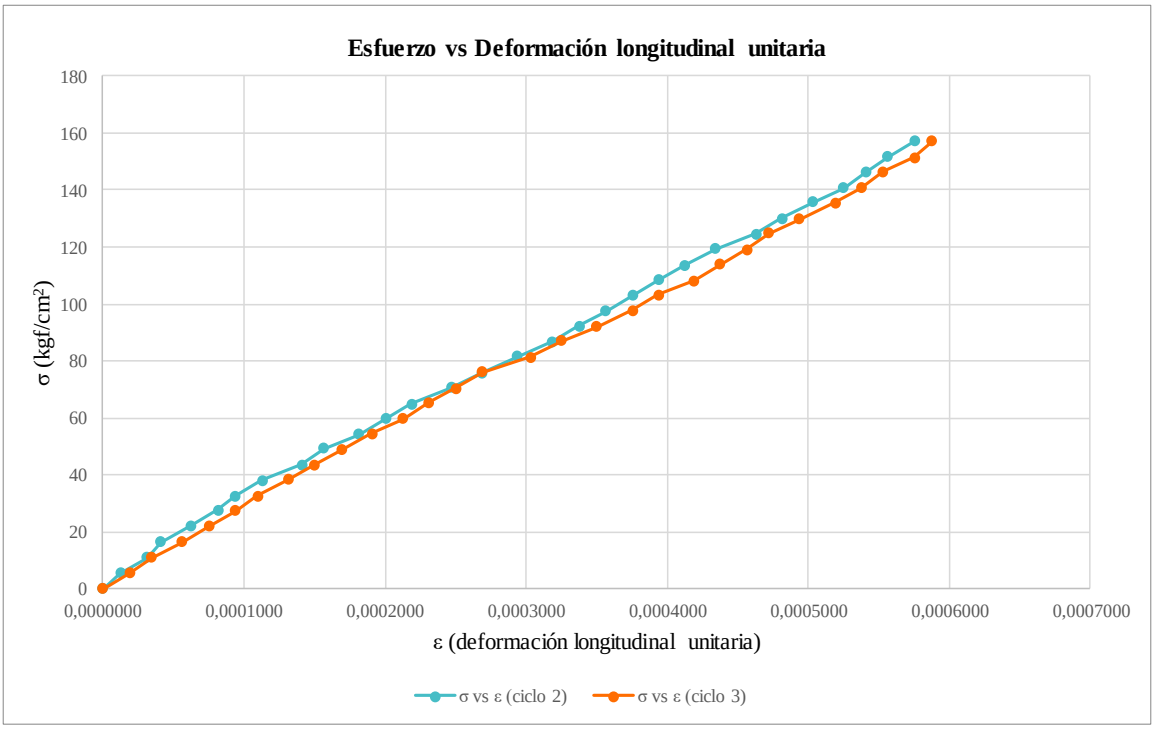
Tabla 98. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,40-1	**Resistencia máxima:**	383,14	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	70 875,21	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	03/10/225	**Diámetro:**	15,35	cm
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	184,99	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,00000000	0,0000000
2	1 010	5,46	2	0,0005080	0,00025400	0,0000125
3	2 020	10,92	5	0,0012700	0,00063500	0,0000313
4	3 040	16,43	6,5	0,0016510	0,00082550	0,0000406
5	4 060	21,95	10	0,0025400	0,00127000	0,0000625
6	5 080	27,46	13	0,0033020	0,00165100	0,0000813
7	6 010	32,49	15	0,0038100	0,00190500	0,0000938
8	7 030	38,00	18	0,0045720	0,00228600	0,0001125
9	8 060	43,57	22,5	0,0057150	0,00285750	0,0001406
10	9 080	49,09	25	0,0063500	0,00317500	0,0001563
11	10 020	54,17	29	0,0073660	0,00368300	0,0001813
12	11 040	59,68	32	0,0081280	0,00406400	0,0002000
13	12 010	64,92	35	0,0088900	0,00444500	0,0002188
14	13 050	70,55	39,5	0,0100330	0,00501650	0,0002469
15	14 030	75,84	43	0,0109220	0,00546100	0,0002688
16	15 080	81,52	47	0,0119380	0,00596900	0,0002938
17	16 020	86,60	51	0,0129540	0,00647700	0,0003188
18	17 060	92,22	54	0,0137160	0,00685800	0,0003375
19	18 040	97,52	57	0,0144780	0,00723900	0,0003563
20	19 010	102,77	60	0,0152400	0,00762000	0,0003750
21	20 070	108,50	63	0,0160020	0,00800100	0,0003938
22	21 030	113,68	66	0,0167640	0,00838200	0,0004125
23	22 080	119,36	69,5	0,0176530	0,00882650	0,0004344
24	23 020	124,44	74	0,0187960	0,00939800	0,0004625
25	24 050	130,01	77	0,0195580	0,00977900	0,0004813
26	25 090	135,63	80,5	0,0204470	0,01022350	0,0005031
27	26 010	140,61	84	0,0213360	0,01066800	0,0005250
28	27 040	146,17	86,5	0,0219710	0,01098550	0,0005406
29	28 060	151,69	89	0,0226060	0,01130300	0,0005563
30	29 080	157,20	92	0,0233680	0,01168400	0,0005750
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,0000000
2	1 000	5,41	3	0,0007620	0,0003810	0,0000188
3	2 030	10,97	5,5	0,0013970	0,0006985	0,0000344
4	3 020	16,33	9	0,0022860	0,0011430	0,0000563
5	4 050	21,89	12	0,0030480	0,0015240	0,0000750
6	5 070	27,41	15	0,0038100	0,0019050	0,0000938
7	6 020	32,54	17,5	0,0044450	0,0022225	0,0001094
8	7 080	38,27	21	0,0053340	0,0026670	0,0001313
9	8 040	43,46	24	0,0060960	0,0030480	0,0001500
10	9 020	48,76	27	0,0068580	0,0034290	0,0001688
11	10 060	54,38	30,5	0,0077470	0,0038735	0,0001906
12	11 010	59,52	34	0,0086360	0,0043180	0,0002125
13	12 080	65,30	37	0,0093980	0,0046990	0,0002313
14	13 020	70,38	40	0,0101600	0,0050800	0,0002500
15	14 070	76,06	43	0,0109220	0,0054610	0,0002688
16	15 030	81,25	48,5	0,0123190	0,0061595	0,0003031
17	16 090	86,98	52	0,0132080	0,0066040	0,0003250
18	17 020	92,01	56	0,0142240	0,0071120	0,0003500
19	18 050	97,58	60	0,0152400	0,0076200	0,0003750
20	19 080	103,14	63	0,0160020	0,0080010	0,0003938
21	20 010	108,17	67	0,0170180	0,0085090	0,0004188
22	21 060	113,85	70	0,0177800	0,0088900	0,0004375
23	22 040	119,14	73	0,0185420	0,0092710	0,0004563
24	23 090	124,82	75,5	0,0191770	0,0095885	0,0004719
25	24 020	129,85	79	0,0200660	0,0100330	0,0004938
26	25 070	135,52	83	0,0210820	0,0105410	0,0005188
27	26 030	140,71	86	0,0218440	0,0109220	0,0005375
28	27 080	146,39	88,5	0,0224790	0,0112395	0,0005531
29	28 010	151,42	92	0,0233680	0,0116840	0,0005750
30	29 050	157,04	94	0,0238760	0,0119380	0,0005875

Gráfico 67. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000406	16,43		151,69	0,000556
0,000050	σ (0,00005)		153,256	ε 0,4σmax
0,0000625	21,95		157,20	0,000575
σ (0,00005)=	18,80	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000562
Ec1=	**262 829,83**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000344	10,97		151,42	0,000575
0,000050	σ (0,00005)		153,256	ε 0,4σmax
0,0000563	16,33		157,04	0,000588
σ (0,00005)=	14,80	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000579
Ec2=	**261 694,77**	**kgf/cm²**		

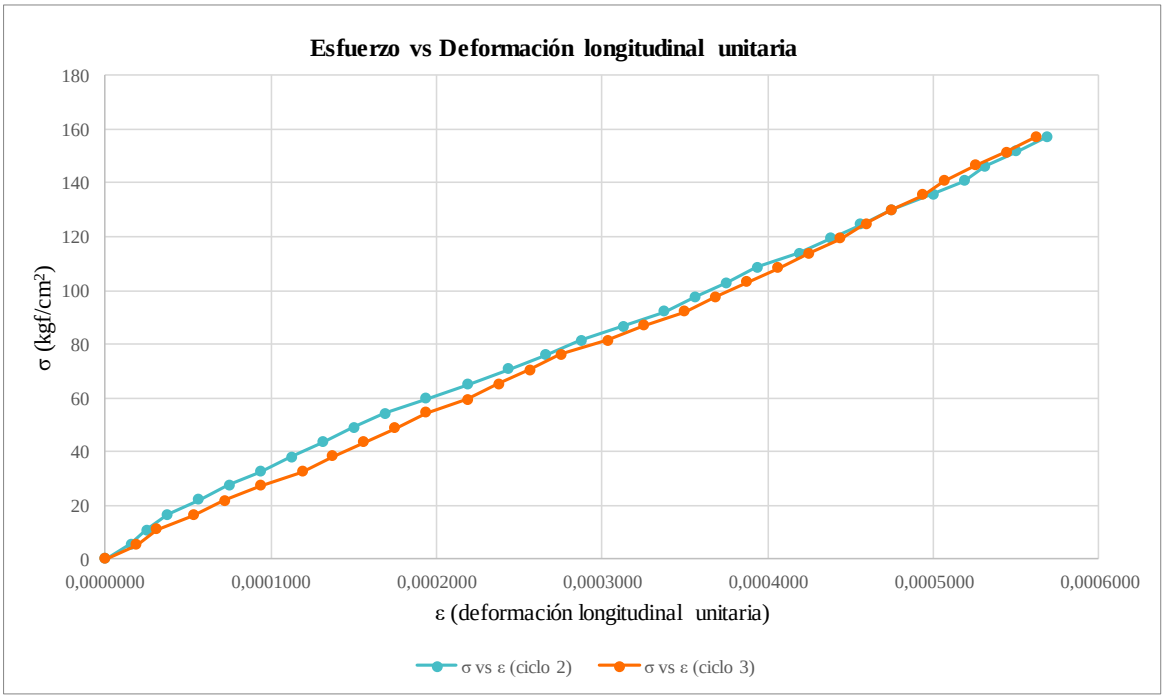
Tabla 99. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,40-2	**Resistencia máxima:**	383,14	kgf/cm²
Edad:	32 dias	**Carga de rotura:**	70 875,21	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	03/10/225	**Diámetro:**	15,35	cm
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	184,99	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,0000000
2	1 010	5,46	2,5	0,0006350	0,0003175	0,0000156
3	2 020	10,92	4	0,0010160	0,0005080	0,0000250
4	3 040	16,43	6	0,0015240	0,0007620	0,0000375
5	4 060	21,95	9	0,0022860	0,0011430	0,0000563
6	5 080	27,46	12	0,0030480	0,0015240	0,0000750
7	6 010	32,49	15	0,0038100	0,0019050	0,0000938
8	7 030	38,00	18	0,0045720	0,0022860	0,0001125
9	8 060	43,57	21	0,0053340	0,0026670	0,0001313
10	9 080	49,09	24	0,0060960	0,0030480	0,0001500
11	10 020	54,17	27	0,0068580	0,0034290	0,0001688
12	11 040	59,68	31	0,0078740	0,0039370	0,0001938
13	12 010	64,92	35	0,0088900	0,0044450	0,0002188
14	13 050	70,55	39	0,0099060	0,0049530	0,0002438
15	14 030	75,84	42,5	0,0107950	0,0053975	0,0002656
16	15 080	81,52	46	0,0116840	0,0058420	0,0002875
17	16 020	86,60	50	0,0127000	0,0063500	0,0003125
18	17 060	92,22	54	0,0137160	0,0068580	0,0003375
19	18 040	97,52	57	0,0144780	0,0072390	0,0003563
20	19 010	102,77	60	0,0152400	0,0076200	0,0003750
21	20 070	108,50	63	0,0160020	0,0080010	0,0003938
22	21 030	113,68	67	0,0170180	0,0085090	0,0004188
23	22 080	119,36	70	0,0177800	0,0088900	0,0004375
24	23 020	124,44	73	0,0185420	0,0092710	0,0004563
25	24 050	130,01	76	0,0193040	0,0096520	0,0004750
26	25 090	135,63	80	0,0203200	0,0101600	0,0005000
27	26 010	140,61	83	0,0210820	0,0105410	0,0005188
28	27 040	146,17	85	0,0215900	0,0107950	0,0005313
29	28 060	151,69	88	0,0223520	0,0111760	0,0005500
30	29 080	157,20	91	0,0231140	0,0115570	0,0005688
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,0000000
2	1 000	5,41	3	0,0007620	0,0003810	0,0000188
3	2 030	10,97	5	0,0012700	0,0006350	0,0000313
4	3 020	16,33	8,5	0,0021590	0,0010795	0,0000531
5	4 050	21,89	11,5	0,0029210	0,0014605	0,0000719
6	5 070	27,41	15	0,0038100	0,0019050	0,0000938
7	6 020	32,54	19	0,0048260	0,0024130	0,0001188
8	7 080	38,27	22	0,0055880	0,0027940	0,0001375
9	8 040	43,46	25	0,0063500	0,0031750	0,0001563
10	9 020	48,76	28	0,0071120	0,0035560	0,0001750
11	10 060	54,38	31	0,0078740	0,0039370	0,0001938
12	11 010	59,52	35	0,0088900	0,0044450	0,0002188
13	12 080	65,30	38	0,0096520	0,0048260	0,0002375
14	13 020	70,38	41	0,0104140	0,0052070	0,0002563
15	14 070	76,06	44	0,0111760	0,0055880	0,0002750
16	15 030	81,25	48,5	0,0123190	0,0061595	0,0003031
17	16 090	86,98	52	0,0132080	0,0066040	0,0003250
18	17 020	92,01	56	0,0142240	0,0071120	0,0003500
19	18 050	97,58	59	0,0149860	0,0074930	0,0003688
20	19 080	103,14	62	0,0157480	0,0078740	0,0003875
21	20 010	108,17	65	0,0165100	0,0082550	0,0004063
22	21 060	113,85	68	0,0172720	0,0086360	0,0004250
23	22 040	119,14	71	0,0180340	0,0090170	0,0004438
24	23 090	124,82	73,5	0,0186690	0,0093345	0,0004594
25	24 020	129,85	76	0,0193040	0,0096520	0,0004750
26	25 070	135,52	79	0,0200660	0,0100330	0,0004938
27	26 030	140,71	81	0,0205740	0,0102870	0,0005063
28	27 080	146,39	84	0,0213360	0,0106680	0,0005250
29	28 010	151,42	87	0,0220980	0,0110490	0,0005438
30	29 050	157,04	90	0,0228600	0,0114300	0,0005625

Gráfico 68. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	16,43		151,69	0,000550
0,000050	σ (0,00005)		153,256	ε 0,4σmax
0,0000563	21,95		157,20	0,000569
σ (0,00005)=	20,11	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000555
Ec1=	**263 482,55**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	10,97		151,42	0,000544
0,000050	σ (0,00005)		153,256	ε 0,4σmax
0,0000531	16,33		157,04	0,000563
σ (0,00005)=	15,56	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000550
Ec2=	**275 455,19**	**kgf/cm²**		

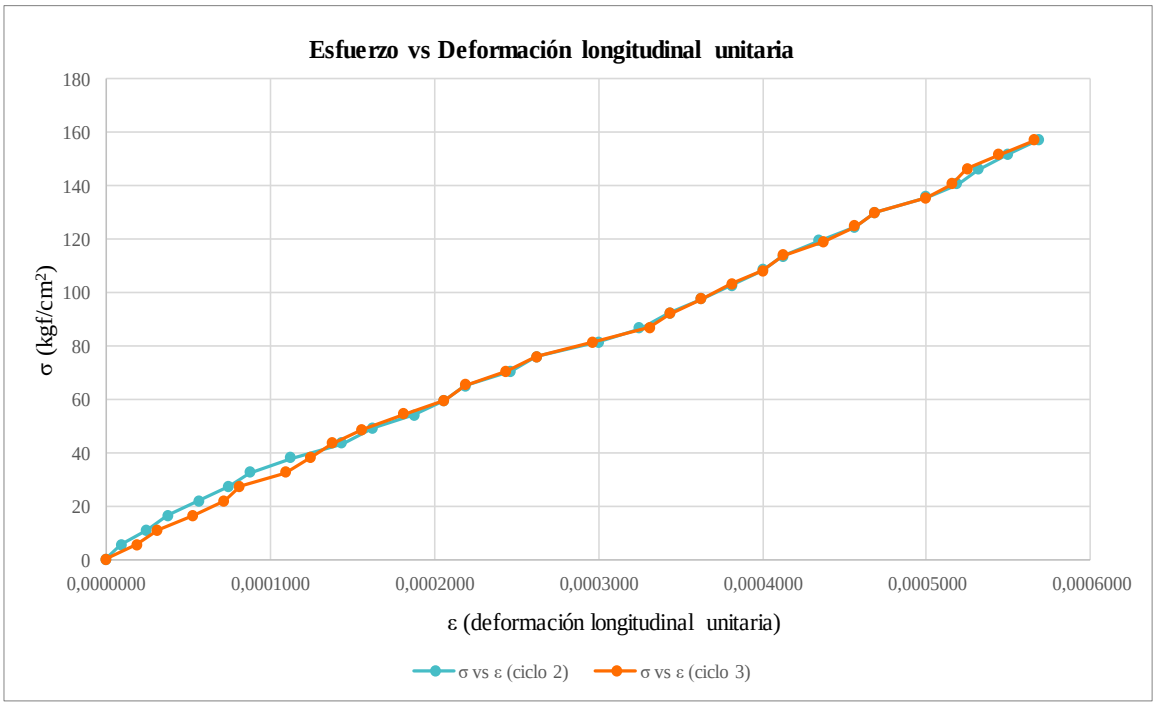
Tabla 100. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Patrón-0,40-3	**Resistencia máxima:**	383,14	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	70 875,21	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	03/10/225	**Diámetro:**	15,35	cm
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	184,99	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,0000000
2	1 010	5,46	1,5	0,0003810	0,0001905	0,0000094
3	2 020	10,92	4	0,0010160	0,0005080	0,0000250
4	3 040	16,43	6	0,0015240	0,0007620	0,0000375
5	4 060	21,95	9	0,0022860	0,0011430	0,0000563
6	5 080	27,46	12	0,0030480	0,0015240	0,0000750
7	6 010	32,49	14	0,0035560	0,0017780	0,0000875
8	7 030	38,00	18	0,0045720	0,0022860	0,0001125
9	8 060	43,57	23	0,0058420	0,0029210	0,0001438
10	9 080	49,09	26	0,0066040	0,0033020	0,0001625
11	10 020	54,17	30	0,0076200	0,0038100	0,0001875
12	11 040	59,68	33	0,0083820	0,0041910	0,0002063
13	12 010	64,92	35	0,0088900	0,0044450	0,0002188
14	13 050	70,55	39,5	0,0100330	0,0050165	0,0002469
15	14 030	75,84	42	0,0106680	0,0053340	0,0002625
16	15 080	81,52	48	0,0121920	0,0060960	0,0003000
17	16 020	86,60	52	0,0132080	0,0066040	0,0003250
18	17 060	92,22	55	0,0139700	0,0069850	0,0003438
19	18 040	97,52	58	0,0147320	0,0073660	0,0003625
20	19 010	102,77	61	0,0154940	0,0077470	0,0003813
21	20 070	108,50	64	0,0162560	0,0081280	0,0004000
22	21 030	113,68	66	0,0167640	0,0083820	0,0004125
23	22 080	119,36	69,5	0,0176530	0,0088265	0,0004344
24	23 020	124,44	73	0,0185420	0,0092710	0,0004563
25	24 050	130,01	75	0,0190500	0,0095250	0,0004688
26	25 090	135,63	80	0,0203200	0,0101600	0,0005000
27	26 010	140,61	83	0,0210820	0,0105410	0,0005188
28	27 040	146,17	85	0,0215900	0,0107950	0,0005313
29	28 060	151,69	88	0,0223520	0,0111760	0,0005500
30	29 080	157,20	91	0,0231140	0,0115570	0,0005688
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,0000000	0,0000000	0,0000000
2	1 000	5,41	3	0,0007620	0,0003810	0,0000188
3	2 030	10,97	5	0,0012700	0,0006350	0,0000313
4	3 020	16,33	8,5	0,0021590	0,0010795	0,0000531
5	4 050	21,89	11,5	0,0029210	0,0014605	0,0000719
6	5 070	27,41	13	0,0033020	0,0016510	0,0000813
7	6 020	32,54	17,5	0,0044450	0,0022225	0,0001094
8	7 080	38,27	20	0,0050800	0,0025400	0,0001250
9	8 040	43,46	22	0,0055880	0,0027940	0,0001375
10	9 020	48,76	25	0,0063500	0,0031750	0,0001563
11	10 060	54,38	29	0,0073660	0,0036830	0,0001813
12	11 010	59,52	33	0,0083820	0,0041910	0,0002063
13	12 080	65,30	35	0,0088900	0,0044450	0,0002188
14	13 020	70,38	39	0,0099060	0,0049530	0,0002438
15	14 070	76,06	42	0,0106680	0,0053340	0,0002625
16	15 030	81,25	47,5	0,0120650	0,0060325	0,0002969
17	16 090	86,98	53	0,0134620	0,0067310	0,0003313
18	17 020	92,01	55	0,0139700	0,0069850	0,0003438
19	18 050	97,58	58	0,0147320	0,0073660	0,0003625
20	19 080	103,14	61	0,0154940	0,0077470	0,0003813
21	20 010	108,17	64	0,0162560	0,0081280	0,0004000
22	21 060	113,85	66	0,0167640	0,0083820	0,0004125
23	22 040	119,14	70	0,0177800	0,0088900	0,0004375
24	23 090	124,82	73	0,0185420	0,0092710	0,0004563
25	24 020	129,85	75	0,0190500	0,0095250	0,0004688
26	25 070	135,52	80	0,0203200	0,0101600	0,0005000
27	26 030	140,71	82,5	0,0209550	0,0104775	0,0005156
28	27 080	146,39	84	0,0213360	0,0106680	0,0005250
29	28 010	151,42	87	0,0220980	0,0110490	0,0005438
30	29 050	157,04	90,5	0,0229870	0,0114935	0,0005656

Gráfico 69. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	16,43		151,69	0,000550
0,000050	σ (0,00005)		153,256	ε 0,4σmax
0,0000563	21,95		157,20	0,000569
σ (0,00005)=	20,11	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000555
Ec1=	**263 482,55**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	10,97		151,42	0,000544
0,000050	σ (0,00005)		153,256	ε 0,4σmax
0,0000531	16,33		157,04	0,000566
σ (0,00005)=	15,56	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000551
Ec2=	**274 893,24**	**kgf/cm²**		

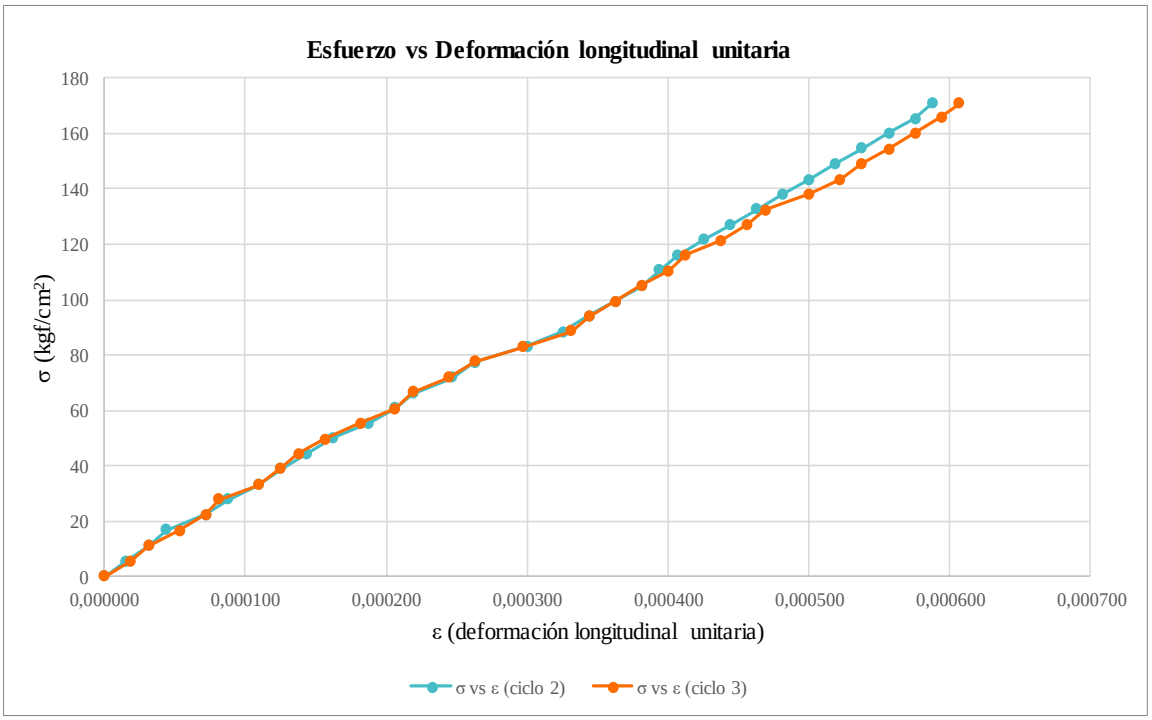
Tabla 101. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,40-1	**Resistencia máxima:**	416,97	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	75 687,60	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	3/10/2025	**Diámetro:**	15,20	cm
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	181,52	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,56	2,5	0,000635	0,000318	0,000016
3	2 020	11,13	5	0,001270	0,000635	0,000031
4	3 040	16,75	7	0,001778	0,000889	0,000044
5	4 060	22,37	11,5	0,002921	0,001461	0,000072
6	5 080	27,99	14	0,003556	0,001778	0,000088
7	6 010	33,11	17,5	0,004445	0,002223	0,000109
8	7 030	38,73	20	0,005080	0,002540	0,000125
9	8 060	44,40	23	0,005842	0,002921	0,000144
10	9 080	50,02	26	0,006604	0,003302	0,000163
11	10 020	55,20	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 040	60,82	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 010	66,16	35	0,008890	0,004445	0,000219
14	13 050	71,89	39,5	0,010033	0,005017	0,000247
15	14 030	77,29	42	0,010668	0,005334	0,000263
16	15 080	83,08	48	0,012192	0,006096	0,000300
17	16 020	88,26	52	0,013208	0,006604	0,000325
18	17 060	93,99	55	0,013970	0,006985	0,000344
19	18 040	99,38	58	0,014732	0,007366	0,000363
20	19 010	104,73	61	0,015494	0,007747	0,000381
21	20 070	110,57	63	0,016002	0,008001	0,000394
22	21 030	115,86	65	0,016510	0,008255	0,000406
23	22 080	121,64	68	0,017272	0,008636	0,000425
24	23 020	126,82	71	0,018034	0,009017	0,000444
25	24 050	132,49	74	0,018796	0,009398	0,000463
26	25 090	138,22	77	0,019558	0,009779	0,000481
27	26 010	143,29	80	0,020320	0,010160	0,000500
28	27 040	148,97	83	0,021082	0,010541	0,000519
29	28 060	154,59	86	0,021844	0,010922	0,000538
30	29 080	160,20	89	0,022606	0,011303	0,000557
31	30 010	165,33	92	0,023368	0,011684	0,000575
32	31 070	171,17	94	0,023876	0,011938	0,000588
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 000	5,51	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 030	11,18	5	0,001270	0,000635	0,000031
4	3 020	16,64	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
5	4 050	22,31	11,5	0,002921	0,001461	0,000072
6	5 070	27,93	13	0,003302	0,001651	0,000081
7	6 020	33,16	17,5	0,004445	0,002223	0,000109
8	7 080	39,00	20	0,005080	0,002540	0,000125
9	8 040	44,29	22	0,005588	0,002794	0,000138
10	9 020	49,69	25	0,006350	0,003175	0,000156
11	10 060	55,42	29	0,007366	0,003683	0,000181
12	11 010	60,66	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 080	66,55	35	0,008890	0,004445	0,000219
14	13 020	71,73	39	0,009906	0,004953	0,000244
15	14 070	77,51	42	0,010668	0,005334	0,000263
16	15 030	82,80	47,5	0,012065	0,006033	0,000297
17	16 090	88,64	53	0,013462	0,006731	0,000331
18	17 020	93,76	55	0,013970	0,006985	0,000344
19	18 050	99,44	58	0,014732	0,007366	0,000363
20	19 080	105,11	61	0,015494	0,007747	0,000381
21	20 010	110,24	64	0,016256	0,008128	0,000400
22	21 060	116,02	66	0,016764	0,008382	0,000413
23	22 040	121,42	70	0,017780	0,008890	0,000438
24	23 090	127,20	73	0,018542	0,009271	0,000456
25	24 020	132,33	75	0,019050	0,009525	0,000469
26	25 070	138,11	80	0,020320	0,010160	0,000500
27	26 030	143,40	83,5	0,021209	0,010605	0,000522
28	27 080	149,19	86	0,021844	0,010922	0,000538
29	28 010	154,31	89	0,022606	0,011303	0,000557
30	29 050	160,04	92	0,023368	0,011684	0,000575
31	30 090	165,77	95	0,024130	0,012065	0,000594
32	31 020	170,89	97	0,024638	0,012319	0,000607

Gráfico 70. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	16,75		165,33	0,000575
0,000050	σ (0,00005)		166,788	ε 0,4σmax
0,0000719	22,37		171,17	0,000588
σ (0,00005)=	17,99	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000578
Ec1=	**281 592,92**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	11,18		165,77	0,000594
0,000050	σ (0,00005)		166,788	ε 0,4σmax
0,0000532	16,64		170,89	0,000607
σ (0,00005)=	15,85	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000597
Ec2=	**276 170,82**	**kgf/cm²**		

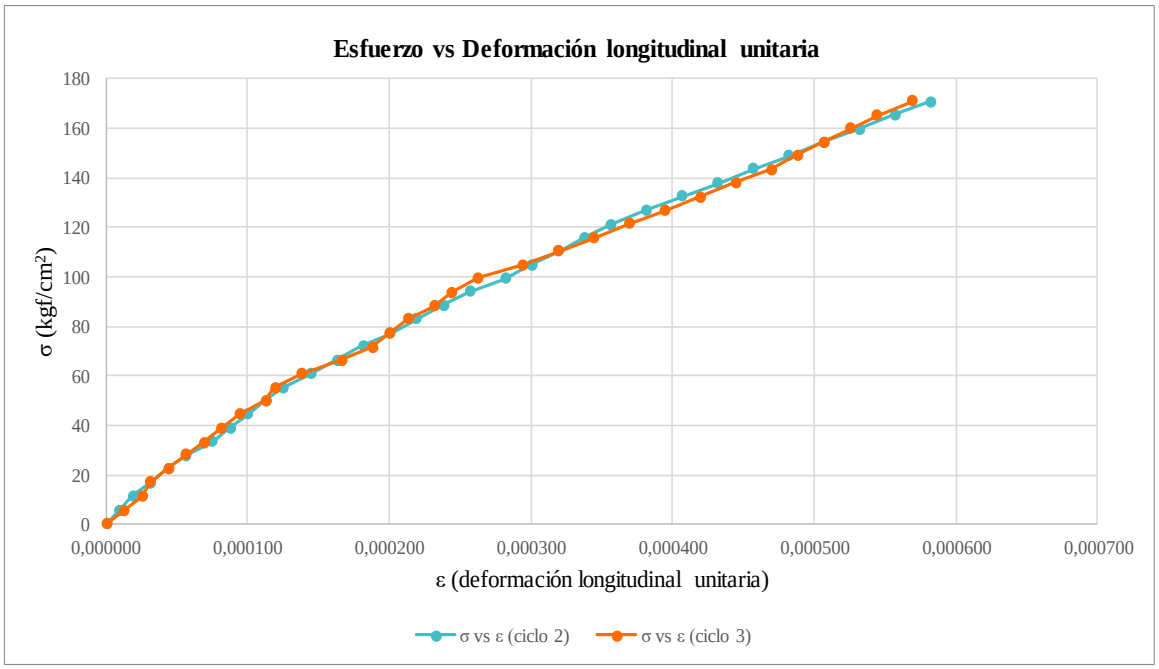
Tabla 102. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,40-2	**Resistencia máxima:**	416,97	kgf/cm²
Edad:	32 dias	**Carga de rotura:**	75 847,00	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	3/10/2025	**Diámetro:**	15,22	cm
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	181,90	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,61	1,5	0,000381	0,000191	0,000009
3	2 040	11,21	3	0,000762	0,000381	0,000019
4	3 010	16,55	5	0,001270	0,000635	0,000031
5	4 090	22,48	7	0,001778	0,000889	0,000044
6	5 060	27,82	9	0,002286	0,001143	0,000056
7	6 030	33,15	12	0,003048	0,001524	0,000075
8	7 050	38,76	14	0,003556	0,001778	0,000088
9	8 070	44,36	16	0,004064	0,002032	0,000100
10	9 090	49,97	18	0,004572	0,002286	0,000113
11	10 030	55,14	20	0,005080	0,002540	0,000125
12	11 020	60,58	23	0,005842	0,002921	0,000144
13	12 050	66,25	26	0,006604	0,003302	0,000163
14	13 080	71,91	29	0,007366	0,003683	0,000181
15	14 010	77,02	32	0,008128	0,004064	0,000200
16	15 040	82,68	35	0,008890	0,004445	0,000219
17	16 070	88,35	38	0,009652	0,004826	0,000238
18	17 090	93,95	41	0,010414	0,005207	0,000256
19	18 020	99,07	45	0,011430	0,005715	0,000281
20	19 060	104,78	48	0,012192	0,006096	0,000300
21	20 040	110,17	51	0,012954	0,006477	0,000319
22	21 080	115,89	54	0,013716	0,006858	0,000338
23	22 010	121,00	57	0,014478	0,007239	0,000356
24	23 050	126,72	61	0,015494	0,007747	0,000381
25	24 090	132,44	65	0,016510	0,008255	0,000406
26	25 020	137,55	69	0,017526	0,008763	0,000431
27	26 080	143,38	73	0,018542	0,009271	0,000456
28	27 030	148,60	77	0,019558	0,009779	0,000481
29	28 060	154,26	81	0,020574	0,010287	0,000506
30	29 020	159,54	85	0,021590	0,010795	0,000532
31	30 070	165,31	89	0,022606	0,011303	0,000557
32	31 040	170,64	93	0,023622	0,011811	0,000582
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,55	2	0,000508	0,000254	0,000013
3	2 030	11,16	4	0,001016	0,000508	0,000025
4	3 050	16,77	5	0,001270	0,000635	0,000031
5	4 070	22,37	7	0,001778	0,000889	0,000044
6	5 090	27,98	9	0,002286	0,001143	0,000056
7	6 010	33,04	11	0,002794	0,001397	0,000069
8	7 030	38,65	13	0,003302	0,001651	0,000081
9	8 050	44,25	15	0,003810	0,001905	0,000094
10	9 070	49,86	18	0,004572	0,002286	0,000113
11	10 020	55,09	19	0,004826	0,002413	0,000119
12	11 050	60,75	22	0,005588	0,002794	0,000138
13	12 030	66,14	26,5	0,006731	0,003366	0,000166
14	13 010	71,52	30	0,007620	0,003810	0,000188
15	14 080	77,41	32	0,008128	0,004064	0,000200
16	15 060	82,79	34	0,008636	0,004318	0,000213
17	16 040	88,18	37	0,009398	0,004699	0,000231
18	17 010	93,51	39	0,009906	0,004953	0,000244
19	18 070	99,34	42	0,010668	0,005334	0,000263
20	19 030	104,62	47	0,011938	0,005969	0,000294
21	20 050	110,23	51	0,012954	0,006477	0,000319
22	21 020	115,56	55	0,013970	0,006985	0,000344
23	22 060	121,28	59	0,014986	0,007493	0,000369
24	23 040	126,66	63	0,016002	0,008001	0,000394
25	24 010	132,00	67	0,017018	0,008509	0,000419
26	25 080	137,88	71	0,018034	0,009017	0,000444
27	26 020	143,05	75	0,019050	0,009525	0,000469
28	27 090	148,93	78	0,019812	0,009906	0,000488
29	28 030	154,10	81	0,020574	0,010287	0,000506
30	29 070	159,81	84	0,021336	0,010668	0,000525
31	30 010	164,98	87	0,022098	0,011049	0,000544
32	31 090	170,92	91	0,023114	0,011557	0,000569

Gráfico 71. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	22,48		165,31	0,000557
0,000050	σ (0,00005)		166,788	ε 0,4σmax
0,0000563	27,82		170,64	0,000582
σ (0,00005)=	25,14	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000563
Ec1=	**275 870,99**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	22,37		164,98	0,000544
0,000050	σ (0,00005)		166,788	ε 0,4σmax
0,0000563	33,04		170,92	0,000569
σ (0,00005)=	27,69	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000552
Ec2=	**277 297,63**	**kgf/cm²**		

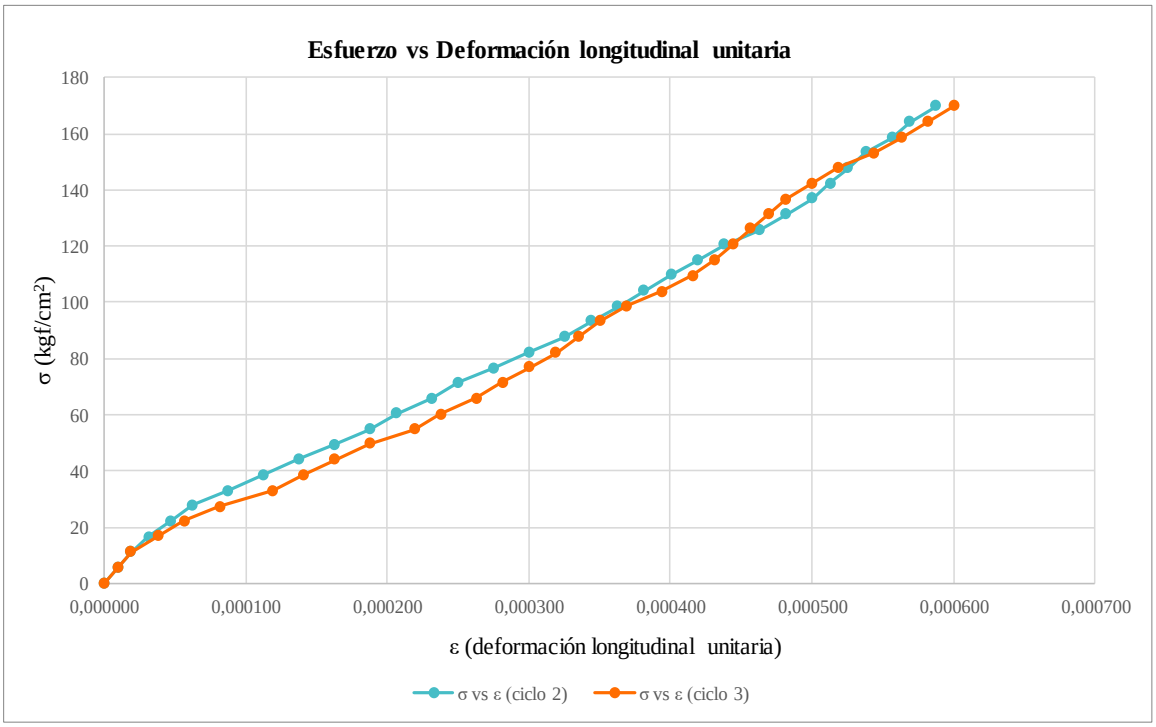
Tabla 103. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimento rigido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	4%-0,40-3	**Resistencia máxima:**	416,97	kgf/cm²
Edad:	32 dias	**Carga de rotura:**	76 326,20	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	3/10/2025	**Diámetro:**	15,27	cm
Fecha de ensayo:	4/11/2025	**Área:**	183,05	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 000	5,46	1,5	0,000381	0,000191	0,000009
3	2 020	11,04	3	0,000762	0,000381	0,000019
4	3 040	16,61	5	0,001270	0,000635	0,000031
5	4 060	22,18	7,5	0,001905	0,000953	0,000047
6	5 080	27,75	10	0,002540	0,001270	0,000063
7	6 020	32,89	14	0,003556	0,001778	0,000088
8	7 060	38,57	18	0,004572	0,002286	0,000113
9	8 080	44,14	22	0,005588	0,002794	0,000138
10	9 020	49,28	26	0,006604	0,003302	0,000163
11	10 040	54,85	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 080	60,53	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 020	65,67	37	0,009398	0,004699	0,000231
14	13 060	71,35	40	0,010160	0,005080	0,000250
15	14 020	76,59	44	0,011176	0,005588	0,000275
16	15 080	82,38	48	0,012192	0,006096	0,000300
17	16 030	87,57	52	0,013208	0,006604	0,000325
18	17 070	93,25	55	0,013970	0,006985	0,000344
19	18 010	98,39	58	0,014732	0,007366	0,000363
20	19 050	104,07	61	0,015494	0,007747	0,000381
21	20 090	109,75	64	0,016256	0,008128	0,000400
22	21 030	114,89	67	0,017018	0,008509	0,000419
23	22 070	120,57	70	0,017780	0,008890	0,000438
24	23 010	125,70	74	0,018796	0,009398	0,000463
25	24 050	131,39	77	0,019558	0,009779	0,000481
26	25 090	137,07	80	0,020320	0,010160	0,000500
27	26 040	142,26	82	0,020828	0,010414	0,000513
28	27 020	147,61	84	0,021336	0,010668	0,000525
29	28 060	153,29	86	0,021844	0,010922	0,000538
30	29 010	158,48	89	0,022606	0,011303	0,000557
31	30 050	164,16	91	0,023114	0,011557	0,000569
32	31 080	169,79	94	0,023876	0,011938	0,000588
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,57	1,5	0,000381	0,000191	0,000009
3	2 040	11,14	3	0,000762	0,000381	0,000019
4	3 060	16,72	6	0,001524	0,000762	0,000038
5	4 080	22,29	9	0,002286	0,001143	0,000056
6	5 010	27,37	13	0,003302	0,001651	0,000081
7	6 030	32,94	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 050	38,51	22,5	0,005715	0,002858	0,000141
9	8 070	44,09	26	0,006604	0,003302	0,000163
10	9 090	49,66	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	10 010	54,68	35	0,008890	0,004445	0,000219
12	11 030	60,26	38	0,009652	0,004826	0,000238
13	12 050	65,83	42	0,010668	0,005334	0,000263
14	13 070	71,40	45	0,011430	0,005715	0,000281
15	14 090	76,97	48	0,012192	0,006096	0,000300
16	15 020	82,05	51	0,012954	0,006477	0,000319
17	16 040	87,63	53,5	0,013589	0,006795	0,000335
18	17 060	93,20	56	0,014224	0,007112	0,000350
19	18 080	98,77	59	0,014986	0,007493	0,000369
20	19 010	103,85	63	0,016002	0,008001	0,000394
21	20 030	109,42	66,5	0,016891	0,008446	0,000416
22	21 050	115,00	69	0,017526	0,008763	0,000431
23	22 070	120,57	71	0,018034	0,009017	0,000444
24	23 090	126,14	73	0,018542	0,009271	0,000456
25	24 020	131,22	75	0,019050	0,009525	0,000469
26	25 040	136,79	77	0,019558	0,009779	0,000481
27	26 060	142,37	80	0,020320	0,010160	0,000500
28	27 080	147,94	83	0,021082	0,010541	0,000519
29	28 010	153,02	87	0,022098	0,011049	0,000544
30	29 030	158,59	90	0,022860	0,011430	0,000563
31	30 050	164,16	93	0,023622	0,011811	0,000582
32	31 070	169,74	96	0,024384	0,012192	0,000600

Gráfico 72. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000469	22,18		164,16	0,000569
0,000050	σ (0,00005)		166,788	ε 0,4σmax
0,0000625	27,75		169,79	0,000588
σ (0,00005)=	23,29	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000578
Ec1=	**271 897,92**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	16,72		164,16	0,000582
0,000050	σ (0,00005)		166,788	ε 0,4σmax
0,0000563	22,29		169,74	0,000600
σ (0,00005)=	20,42	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000590
Ec2=	**270 856,83**	**kgf/cm²**		

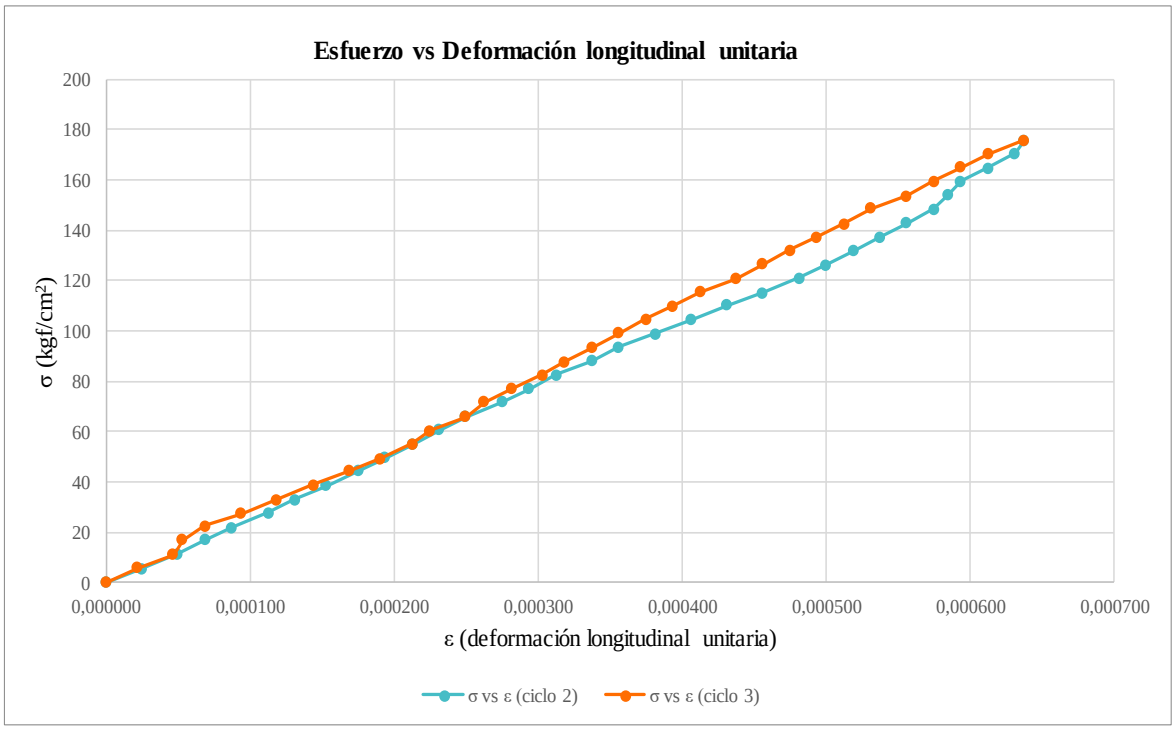
Tabla 104. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsilice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,40-1	**Resistencia máxima:**	435,42	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	79 400,95	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,24	cm
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	182,35	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 040	5,70	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 070	11,35	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 090	16,94	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 010	21,99	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 080	27,86	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	6 020	33,01	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	7 060	38,72	24,5	0,006223	0,003112	0,000153
9	8 080	44,31	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	9 050	49,63	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 030	55,00	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 090	60,82	37	0,009398	0,004699	0,000231
13	12 010	65,86	40	0,010160	0,005080	0,000250
14	13 070	71,67	44	0,011176	0,005588	0,000275
15	14 020	76,88	47	0,011938	0,005969	0,000294
16	15 040	82,48	50	0,012700	0,006350	0,000313
17	16 080	88,18	54	0,013716	0,006858	0,000338
18	17 050	93,50	57	0,014478	0,007239	0,000356
19	18 030	98,87	61	0,015494	0,007747	0,000381
20	19 060	104,52	65	0,016510	0,008255	0,000406
21	20 090	110,17	69	0,017526	0,008763	0,000431
22	21 010	115,21	73	0,018542	0,009271	0,000456
23	22 080	121,08	77	0,019558	0,009779	0,000481
24	23 020	126,24	80	0,020320	0,010160	0,000500
25	24 050	131,89	83	0,021082	0,010541	0,000519
26	25 030	137,26	86	0,021844	0,010922	0,000538
27	26 070	142,96	89	0,022606	0,011303	0,000557
28	27 040	148,28	92	0,023368	0,011684	0,000575
29	28 060	153,88	93,5	0,023749	0,011875	0,000585
30	29 090	159,52	95	0,024130	0,012065	0,000594
31	30 010	164,57	98	0,024892	0,012446	0,000613
32	31 080	170,44	101	0,025654	0,012827	0,000632
33	32 040	175,70	102	0,025908	0,012954	0,000638
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 070	5,87	3,5	0,000889	0,000445	0,000022
3	2 030	11,13	7,5	0,001905	0,000953	0,000047
4	3 080	16,89	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
5	4 090	22,43	11	0,002794	0,001397	0,000069
6	5 020	27,53	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 040	33,12	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 070	38,77	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 090	44,36	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 010	49,41	30,5	0,007747	0,003874	0,000191
11	10 080	55,28	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 020	60,43	36	0,009144	0,004572	0,000225
13	12 050	66,08	40	0,010160	0,005080	0,000250
14	13 090	71,78	42	0,010668	0,005334	0,000263
15	14 030	76,94	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 060	82,59	48,5	0,012319	0,006160	0,000303
17	16 010	87,80	51	0,012954	0,006477	0,000319
18	17 040	93,44	54	0,013716	0,006858	0,000338
19	18 070	99,09	57	0,014478	0,007239	0,000356
20	19 090	104,69	60	0,015240	0,007620	0,000375
21	20 020	109,79	63	0,016002	0,008001	0,000394
22	21 060	115,49	66	0,016764	0,008382	0,000413
23	22 030	120,81	70	0,017780	0,008890	0,000438
24	23 080	126,57	73	0,018542	0,009271	0,000456
25	24 090	132,11	76	0,019304	0,009652	0,000475
26	25 040	137,31	79	0,020066	0,010033	0,000494
27	26 010	142,63	82	0,020828	0,010414	0,000513
28	27 090	148,56	85	0,021590	0,010795	0,000532
29	28 020	153,66	89	0,022606	0,011303	0,000557
30	29 070	159,41	92	0,023368	0,011684	0,000575
31	30 090	165,01	95	0,024130	0,012065	0,000594
32	31 030	170,16	98	0,024892	0,012446	0,000613
33	32 080	175,92	102	0,025908	0,012954	0,000638

Gráfico 73. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,70		170,44	0,000632
0,000050	σ (0,00005)		174,168	ε 0,4σmax
0,0000500	11,35		175,70	0,000638
σ (0,00005)=	11,35	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000636
Ec1=	**277 856,89**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000469	11,13		170,16	0,000613
0,000050	σ (0,00005)		174,168	ε 0,4σmax
0,0000532	16,89		175,92	0,000638
σ (0,00005)=	13,99	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000630
Ec2=	**276 076,34**	**kgf/cm²**		

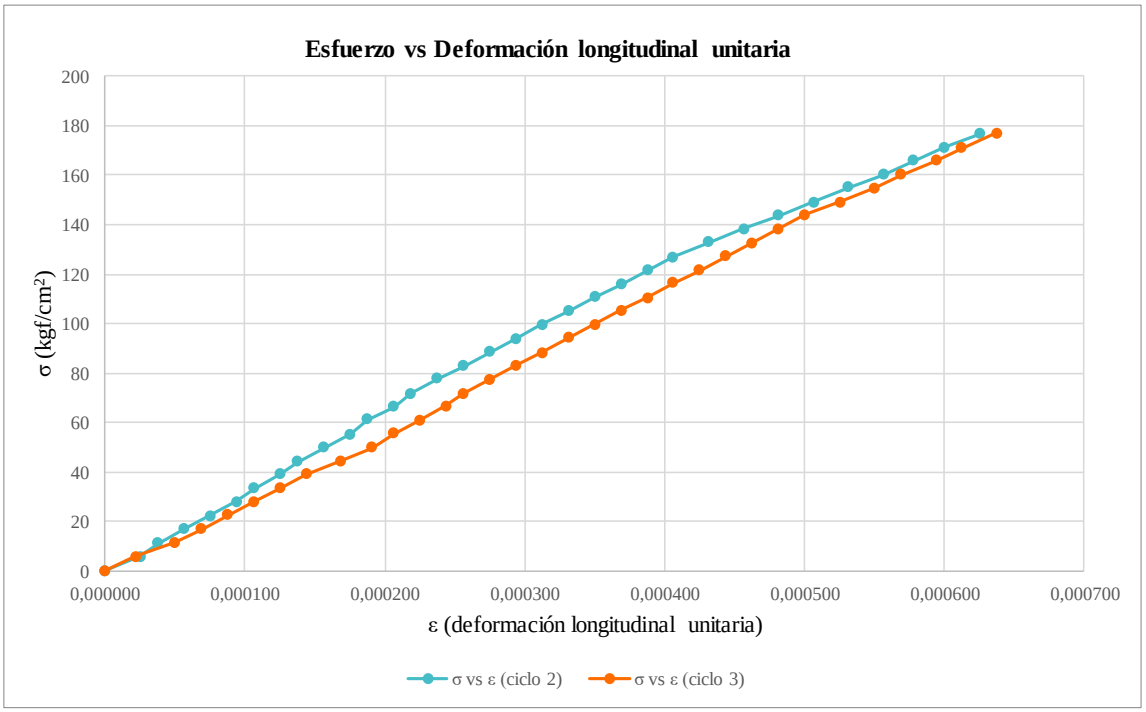
Tabla 105. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,40-2	**Resistencia máxima:**	435,42	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	78 974,23	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,20	cm
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	181,37	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,84	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 050	11,30	6	0,001524	0,000762	0,000038
4	3 070	16,93	9	0,002286	0,001143	0,000056
5	4 020	22,16	12	0,003048	0,001524	0,000075
6	5 090	28,06	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 020	33,19	17	0,004318	0,002159	0,000106
8	7 080	39,04	20	0,005080	0,002540	0,000125
9	8 010	44,16	22	0,005588	0,002794	0,000138
10	9 050	49,90	25	0,006350	0,003175	0,000156
11	10 030	55,30	28	0,007112	0,003556	0,000175
12	11 090	61,14	30	0,007620	0,003810	0,000188
13	12 040	66,38	33	0,008382	0,004191	0,000206
14	13 010	71,73	35	0,008890	0,004445	0,000219
15	14 080	77,63	38	0,009652	0,004826	0,000238
16	15 020	82,81	41	0,010414	0,005207	0,000256
17	16 070	88,60	44	0,011176	0,005588	0,000275
18	17 030	93,89	47	0,011938	0,005969	0,000294
19	18 060	99,57	50	0,012700	0,006350	0,000313
20	19 040	104,98	53	0,013462	0,006731	0,000331
21	20 080	110,71	56	0,014224	0,007112	0,000350
22	21 010	115,84	59	0,014986	0,007493	0,000369
23	22 050	121,57	62	0,015748	0,007874	0,000388
24	23 020	126,92	65	0,016510	0,008255	0,000406
25	24 070	132,71	69	0,017526	0,008763	0,000431
26	25 090	138,33	73	0,018542	0,009271	0,000456
27	26 040	143,57	77	0,019558	0,009779	0,000481
28	27 010	148,92	81	0,020574	0,010287	0,000506
29	28 090	154,87	85	0,021590	0,010795	0,000531
30	29 020	160,00	89	0,022606	0,011303	0,000556
31	30 070	165,79	92,5	0,023495	0,011748	0,000578
32	31 040	171,14	96	0,024384	0,012192	0,000600
33	32 010	176,49	100	0,025400	0,012700	0,000625
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 040	5,73	3,5	0,000889	0,000445	0,000022
3	2 090	11,52	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 030	16,71	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 080	22,49	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 060	27,90	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 030	33,25	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 070	38,98	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 060	44,44	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 010	49,68	30,5	0,007747	0,003874	0,000191
11	10 080	55,58	33	0,008382	0,004191	0,000206
12	11 040	60,87	36	0,009144	0,004572	0,000225
13	12 090	66,66	39	0,009906	0,004953	0,000244
14	13 020	71,79	41	0,010414	0,005207	0,000256
15	14 060	77,52	44	0,011176	0,005588	0,000275
16	15 090	83,20	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	16 010	88,27	50	0,012700	0,006350	0,000313
18	17 080	94,17	53	0,013462	0,006731	0,000331
19	18 030	99,41	56	0,014224	0,007112	0,000350
20	19 070	105,14	59	0,014986	0,007493	0,000369
21	20 020	110,38	62	0,015748	0,007874	0,000388
22	21 090	116,28	65	0,016510	0,008255	0,000406
23	22 030	121,46	68	0,017272	0,008636	0,000425
24	23 080	127,25	71	0,018034	0,009017	0,000444
25	24 010	132,38	74	0,018796	0,009398	0,000463
26	25 070	138,22	77	0,019558	0,009779	0,000481
27	26 090	143,85	80	0,020320	0,010160	0,000500
28	27 020	148,97	84	0,021336	0,010668	0,000525
29	28 060	154,71	88	0,022352	0,011176	0,000550
30	29 030	160,06	91	0,023114	0,011557	0,000569
31	30 080	165,84	95	0,024130	0,012065	0,000594
32	31 010	170,97	98	0,024892	0,012446	0,000613
33	32 070	176,82	102	0,025908	0,012954	0,000638

Gráfico 74. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,30		171,14	0,000600
0,000050	σ (0,00005)		174,168	ε 0,4σmax
0,0000563	16,93		176,49	0,000625
σ (0,00005)=	15,05	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000614
Ec1=	**282 037,42**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000219	5,73		170,97	0,000613
0,000050	σ (0,00005)		174,168	ε 0,4σmax
0,0000500	11,52		176,82	0,000638
σ (0,00005)=	11,52	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000626
Ec2=	**282 285,33**	**kgf/cm²**		

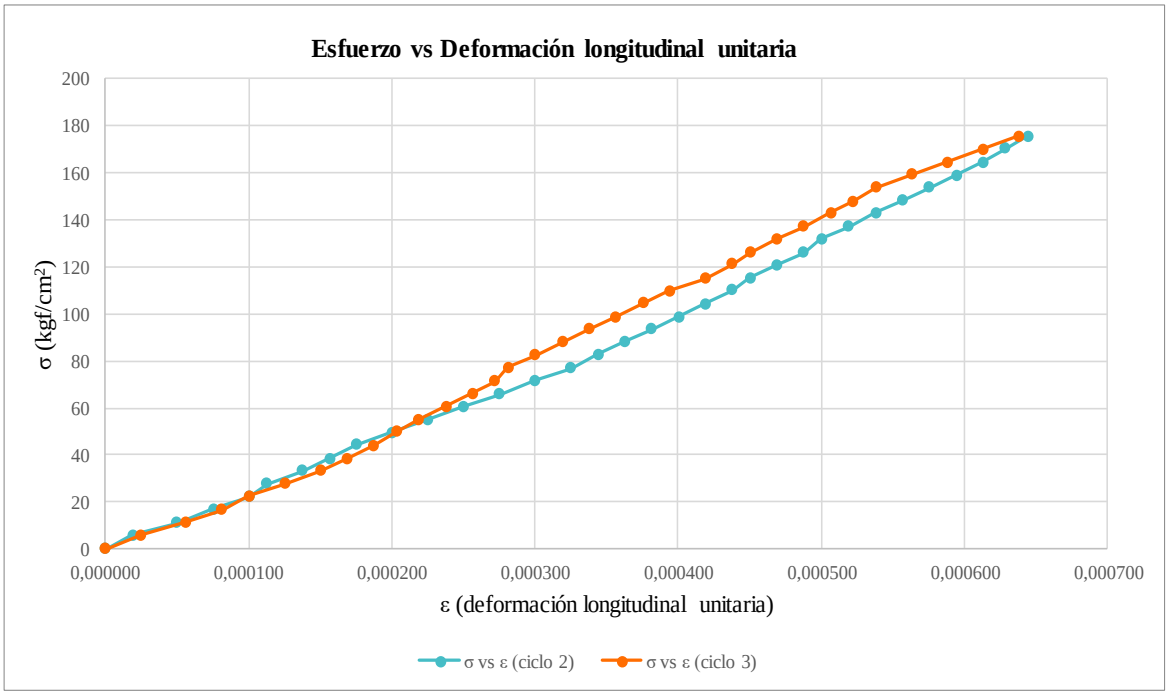
Tabla 106. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	6%-0,40-3	**Resistencia máxima:**	435	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	79 449,35	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,25	cm
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	182,64	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (mm)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 070	5,86	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 010	11,01	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 090	16,92	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	4 020	22,01	16	0,004064	0,002032	0,000100
6	5 030	27,54	18	0,004572	0,002286	0,000113
7	6 080	33,29	22	0,005588	0,002794	0,000138
8	7 010	38,38	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	8 090	44,29	28	0,007112	0,003556	0,000175
10	9 020	49,39	32	0,008128	0,004064	0,000200
11	10 030	54,92	36	0,009144	0,004572	0,000225
12	11 060	60,56	40	0,010160	0,005080	0,000250
13	12 020	65,81	44	0,011176	0,005588	0,000275
14	13 080	71,62	48	0,012192	0,006096	0,000300
15	14 010	76,71	52	0,013208	0,006604	0,000325
16	15 070	82,51	55	0,013970	0,006985	0,000344
17	16 090	88,10	58	0,014732	0,007366	0,000363
18	17 040	93,30	61	0,015494	0,007747	0,000381
19	18 020	98,66	64	0,016256	0,008128	0,000400
20	19 050	104,30	67	0,017018	0,008509	0,000419
21	20 090	110,00	70	0,017780	0,008890	0,000438
22	21 030	115,14	72	0,018288	0,009144	0,000450
23	22 080	120,89	75	0,019050	0,009525	0,000469
24	23 010	125,98	78	0,019812	0,009906	0,000488
25	24 090	131,90	80	0,020320	0,010160	0,000500
26	25 020	136,99	83	0,021082	0,010541	0,000519
27	26 070	142,74	86	0,021844	0,010922	0,000538
28	27 030	147,99	89	0,022606	0,011303	0,000557
29	28 090	153,80	92	0,023368	0,011684	0,000575
30	29 040	159,00	95	0,024130	0,012065	0,000594
31	30 010	164,31	98	0,024892	0,012446	0,000613
32	31 080	170,17	100,5	0,025527	0,012764	0,000628
33	32 020	175,32	103	0,026162	0,013081	0,000644
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,80	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 080	11,39	9	0,002286	0,001143	0,000056
4	3 040	16,64	13	0,003302	0,001651	0,000081
5	4 090	22,39	16	0,004064	0,002032	0,000100
6	5 020	27,49	20	0,005080	0,002540	0,000125
7	6 070	33,23	24	0,006096	0,003048	0,000150
8	7 020	38,44	27	0,006858	0,003429	0,000169
9	8 040	44,02	30	0,007620	0,003810	0,000188
10	9 090	49,77	32,5	0,008255	0,004128	0,000203
11	10 020	54,86	35	0,008890	0,004445	0,000219
12	11 040	60,45	38	0,009652	0,004826	0,000238
13	12 090	66,20	41	0,010414	0,005207	0,000256
14	13 010	71,23	43,5	0,011049	0,005525	0,000272
15	14 080	77,09	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 020	82,24	48	0,012192	0,006096	0,000300
17	16 060	87,93	51	0,012954	0,006477	0,000319
18	17 090	93,57	54	0,013716	0,006858	0,000338
19	18 030	98,72	57	0,014478	0,007239	0,000356
20	19 070	104,41	60	0,015240	0,007620	0,000375
21	20 040	109,72	63	0,016002	0,008001	0,000394
22	21 010	115,03	67	0,017018	0,008509	0,000419
23	22 090	120,95	70	0,017780	0,008890	0,000438
24	23 020	126,04	72	0,018288	0,009144	0,000450
25	24 070	131,79	75	0,019050	0,009525	0,000469
26	25 030	137,04	78	0,019812	0,009906	0,000488
27	26 080	142,79	81	0,020574	0,010287	0,000506
28	27 010	147,88	83,5	0,021209	0,010605	0,000522
29	28 060	153,63	86	0,021844	0,010922	0,000538
30	29 090	159,27	90	0,022860	0,011430	0,000563
31	30 020	164,37	94	0,023876	0,011938	0,000588
32	31 040	169,95	98	0,024892	0,012446	0,000613
33	32 070	175,59	102	0,025908	0,012954	0,000638

Gráfico 75. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000188	5,86		170,17	0,000628
0,000050	σ (0,00005)		174	ε 0,4σmax
0,0000500	11,01		175,32	0,000644
σ (0,00005)=	11,00	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000640
Ec1=	**276 235,98**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,80		169,95	0,000613
0,000050	σ (0,00005)		174	ε 0,4σmax
0,0000563	11,39		175,59	0,000638
σ (0,00005)=	10,27	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000631
Ec2=	**281 926,20**	**kgf/cm²**		

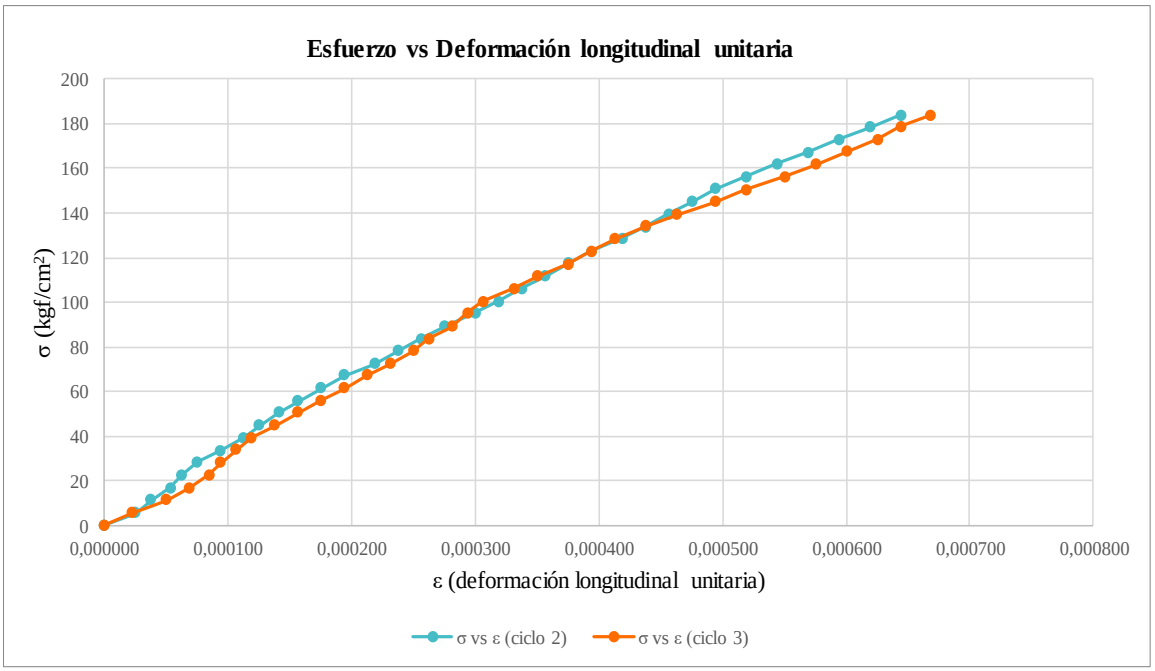
Tabla 107. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,40-1	**Resistencia máxima:**	449,09	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	80 731,63	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,13	cm
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	179,77	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,62	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 020	11,24	6	0,001524	0,000762	0,000038
4	3 040	16,91	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
5	4 060	22,58	10	0,002540	0,001270	0,000063
6	5 080	28,26	12	0,003048	0,001524	0,000075
7	6 010	33,43	15	0,003810	0,001905	0,000094
8	7 030	39,11	18	0,004572	0,002286	0,000113
9	8 050	44,78	20	0,005080	0,002540	0,000125
10	9 070	50,45	22,5	0,005715	0,002858	0,000141
11	10 020	55,74	25	0,006350	0,003175	0,000156
12	11 030	61,36	28	0,007112	0,003556	0,000175
13	12 050	67,03	31	0,007874	0,003937	0,000194
14	13 010	72,37	35	0,008890	0,004445	0,000219
15	14 070	78,27	38	0,009652	0,004826	0,000238
16	15 040	83,66	41	0,010414	0,005207	0,000256
17	16 020	89,12	44	0,011176	0,005588	0,000275
18	17 080	95,01	48	0,012192	0,006096	0,000300
19	18 030	100,30	51	0,012954	0,006477	0,000319
20	19 090	106,19	54	0,013716	0,006858	0,000338
21	20 010	111,31	57	0,014478	0,007239	0,000356
22	21 070	117,21	60	0,015240	0,007620	0,000375
23	22 030	122,55	63	0,016002	0,008001	0,000394
24	23 080	128,39	67	0,017018	0,008509	0,000419
25	24 010	133,56	70	0,017780	0,008890	0,000438
26	25 060	139,40	73	0,018542	0,009271	0,000456
27	26 020	144,74	76	0,019304	0,009652	0,000475
28	27 080	150,64	79	0,020066	0,010033	0,000494
29	28 040	155,98	83	0,021082	0,010541	0,000519
30	29 090	161,82	87	0,022098	0,011049	0,000544
31	30 030	167,05	91	0,023114	0,011557	0,000569
32	31 080	172,89	95	0,024130	0,012065	0,000594
33	32 050	178,29	99	0,025146	0,012573	0,000619
34	33 010	183,63	103	0,026162	0,013081	0,000644
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,62	3,5	0,000889	0,000445	0,000022
3	2 030	11,29	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 040	16,91	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 070	22,64	13,5	0,003429	0,001715	0,000084
6	5 050	28,09	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 070	33,77	17	0,004318	0,002159	0,000106
8	7 030	39,11	19	0,004826	0,002413	0,000119
9	8 050	44,78	22	0,005588	0,002794	0,000138
10	9 080	50,51	25	0,006350	0,003175	0,000156
11	10 030	55,79	28	0,007112	0,003556	0,000175
12	11 020	61,30	31	0,007874	0,003937	0,000194
13	12 060	67,09	34	0,008636	0,004318	0,000213
14	13 010	72,37	37	0,009398	0,004699	0,000231
15	14 070	78,27	40	0,010160	0,005080	0,000250
16	15 040	83,66	42	0,010668	0,005334	0,000263
17	16 020	89,12	45	0,011430	0,005715	0,000281
18	17 080	95,01	47	0,011938	0,005969	0,000294
19	18 050	100,41	49	0,012446	0,006223	0,000306
20	19 030	105,86	53	0,013462	0,006731	0,000331
21	20 070	111,64	56	0,014224	0,007112	0,000350
22	21 040	117,04	60	0,015240	0,007620	0,000375
23	22 090	122,88	63	0,016002	0,008001	0,000394
24	23 020	128,05	66	0,016764	0,008382	0,000413
25	24 080	133,95	70	0,017780	0,008890	0,000438
26	25 030	139,24	74	0,018796	0,009398	0,000463
27	26 070	145,02	79	0,020066	0,010033	0,000494
28	27 010	150,25	83	0,021082	0,010541	0,000519
29	28 060	156,09	88	0,022352	0,011176	0,000550
30	29 020	161,43	92	0,023368	0,011684	0,000575
31	30 090	167,38	96	0,024384	0,012192	0,000600
32	31 040	172,67	100	0,025400	0,012700	0,000625
33	32 080	178,45	103	0,026162	0,013081	0,000644
34	33 010	183,63	107	0,027178	0,013589	0,000669

Gráfico 76. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,24		178,29	0,000619
0,000050	σ (0,00005)		179,636	ε 0,4σmax
0,0000531	16,91		183,63	0,000644
σ (0,00005)=	15,78	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000625
Ec1=	**284 939,76**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000219	5,62		178,45	0,000644
0,000050	σ (0,00005)		179,636	ε 0,4σmax
0,0000500	11,29		183,63	0,000669
σ (0,00005)=	11,29	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000649
Ec2=	**280 822,42**	**kgf/cm²**		

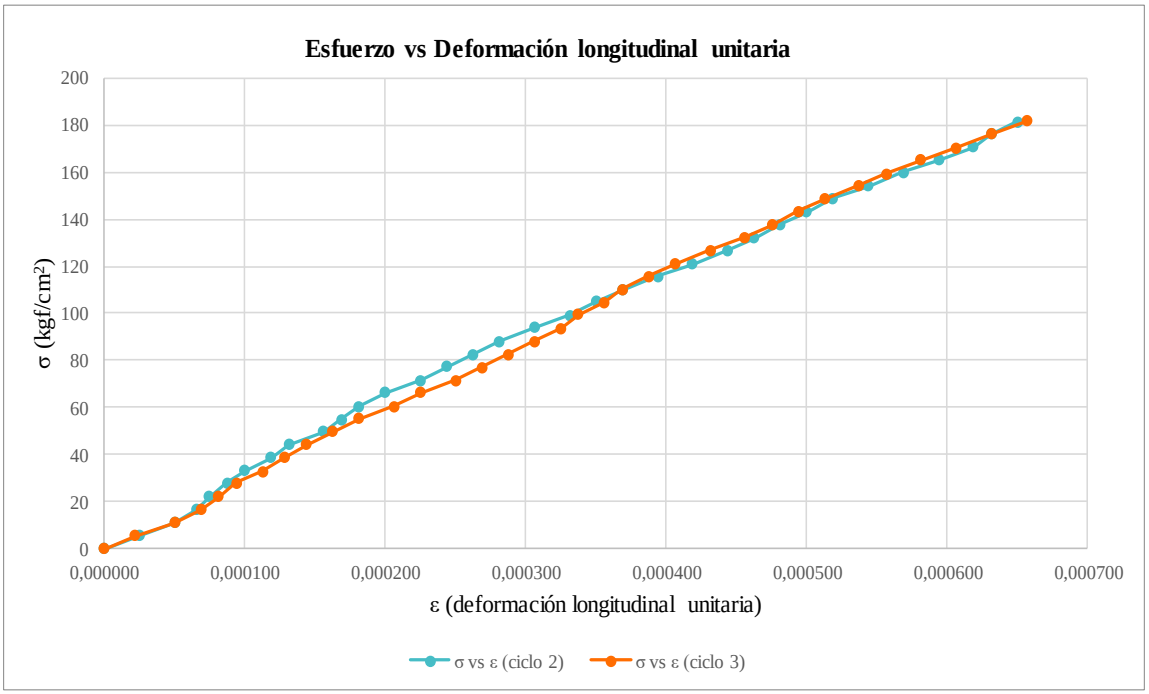
Tabla 108. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,40-2	**Resistencia máxima:**	449,09	kgf/cm²
Edad:	32 dias	**Carga de rotura:**	81 770,17	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,23	cm
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	182,08	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,55	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 030	11,15	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 040	16,70	10,5	0,002667	0,001334	0,000066
5	4 060	22,30	12	0,003048	0,001524	0,000075
6	5 080	27,90	14	0,003556	0,001778	0,000088
7	6 020	33,06	16	0,004064	0,002032	0,000100
8	7 030	38,61	19	0,004826	0,002413	0,000119
9	8 050	44,21	21	0,005334	0,002667	0,000131
10	9 070	49,81	25	0,006350	0,003175	0,000156
11	10 020	55,03	27	0,006858	0,003429	0,000169
12	11 030	60,58	29	0,007366	0,003683	0,000181
13	12 050	66,18	32	0,008128	0,004064	0,000200
14	13 010	71,45	36	0,009144	0,004572	0,000225
15	14 070	77,27	39	0,009906	0,004953	0,000244
16	15 040	82,60	42	0,010668	0,005334	0,000263
17	16 020	87,98	45	0,011430	0,005715	0,000281
18	17 080	93,81	49	0,012446	0,006223	0,000306
19	18 030	99,02	53	0,013462	0,006731	0,000331
20	19 090	104,84	56	0,014224	0,007112	0,000350
21	20 010	109,90	59	0,014986	0,007493	0,000369
22	21 070	115,72	63	0,016002	0,008001	0,000394
23	22 030	120,99	67	0,017018	0,008509	0,000419
24	23 080	126,76	71	0,018034	0,009017	0,000444
25	24 010	131,87	74	0,018796	0,009398	0,000463
26	25 060	137,63	77	0,019558	0,009779	0,000481
27	26 020	142,90	80	0,020320	0,010160	0,000500
28	27 080	148,73	83	0,021082	0,010541	0,000519
29	28 040	154,00	87	0,022098	0,011049	0,000544
30	29 090	159,77	91	0,023114	0,011557	0,000569
31	30 030	164,93	95	0,024130	0,012065	0,000594
32	31 080	170,69	99	0,025146	0,012573	0,000619
33	32 050	176,02	101	0,025654	0,012827	0,000631
34	33 010	181,29	104	0,026416	0,013208	0,000650
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,60	3,5	0,000889	0,000445	0,000022
3	2 040	11,20	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 050	16,75	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 070	22,35	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 090	27,95	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 010	33,01	18	0,004572	0,002286	0,000113
8	7 040	38,66	20,5	0,005207	0,002604	0,000128
9	8 060	44,27	23	0,005842	0,002921	0,000144
10	9 080	49,87	26	0,006604	0,003302	0,000163
11	10 040	55,14	29	0,007366	0,003683	0,000181
12	11 020	60,52	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 080	66,34	36	0,009144	0,004572	0,000225
14	13 010	71,45	40	0,010160	0,005080	0,000250
15	14 050	77,16	43	0,010922	0,005461	0,000269
16	15 030	82,55	46	0,011684	0,005842	0,000288
17	16 070	88,26	49	0,012446	0,006223	0,000306
18	17 020	93,48	52	0,013208	0,006604	0,000325
19	18 090	99,35	54	0,013716	0,006858	0,000338
20	19 030	104,51	57	0,014478	0,007239	0,000356
21	20 080	110,28	59	0,014986	0,007493	0,000369
22	21 040	115,55	62	0,015748	0,007874	0,000388
23	22 010	120,88	65	0,016510	0,008255	0,000406
24	23 090	126,81	69	0,017526	0,008763	0,000431
25	24 050	132,09	73	0,018542	0,009271	0,000456
26	25 020	137,41	76	0,019304	0,009652	0,000475
27	26 080	143,23	79	0,020066	0,010033	0,000494
28	27 030	148,45	82	0,020828	0,010414	0,000513
29	28 070	154,16	86	0,021844	0,010922	0,000538
30	29 010	159,33	89	0,022606	0,011303	0,000556
31	30 050	165,04	93	0,023622	0,011811	0,000581
32	31 020	170,36	97	0,024638	0,012319	0,000606
33	32 080	176,19	101	0,025654	0,012827	0,000631
34	33 040	181,46	105	0,026670	0,013335	0,000656

Gráfico 77. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	5,55		176,02	0,000631
0,000050	σ (0,00005)		179,636	ε 0,4σmax
0,0000500	11,15		181,29	0,000650
σ (0,00005)=	11,15	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000644
Ec1=	**283 599,07**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000219	5,60		176,19	0,000631
0,000050	σ (0,00005)		179,636	ε 0,4σmax
0,0000500	11,20		181,46	0,000656
σ (0,00005)=	11,20	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000648
Ec2=	**281 844,77**	**kgf/cm²**		

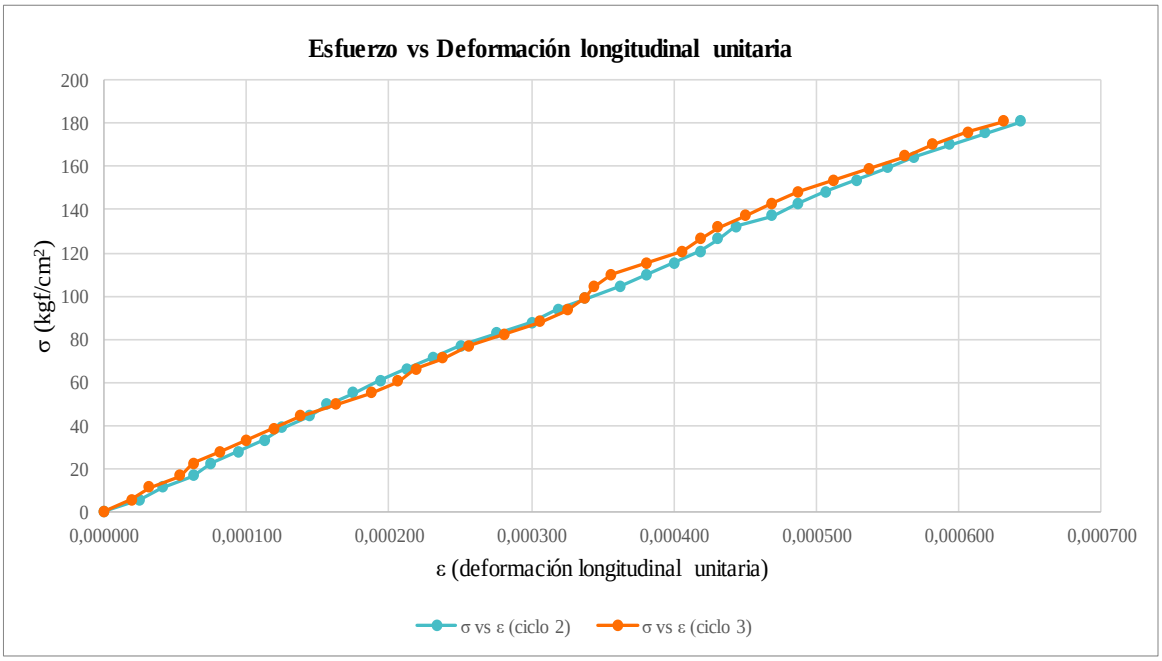
Tabla 109. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	8%-0,40-3	**Resistencia máxima:**	449,09	kgf/cm²
Edad:	32 dias	**Carga de rotura:**	81 958,25	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,32	cm
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,24	cm
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	182,50	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,64	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 080	11,40	6,5	0,001651	0,000826	0,000041
4	3 020	16,55	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 070	22,30	12	0,003048	0,001524	0,000075
6	5 050	27,67	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 030	33,04	18	0,004572	0,002286	0,000113
8	7 060	38,69	20	0,005080	0,002540	0,000125
9	8 090	44,33	23	0,005842	0,002921	0,000144
10	9 040	49,53	25	0,006350	0,003175	0,000156
11	10 020	54,90	28	0,007112	0,003556	0,000175
12	11 090	60,77	31	0,007874	0,003937	0,000194
13	12 050	66,03	34	0,008636	0,004318	0,000213
14	13 070	71,62	37	0,009398	0,004699	0,000231
15	14 030	76,88	40	0,010160	0,005080	0,000250
16	15 060	82,52	44	0,011176	0,005588	0,000275
17	16 010	87,73	48	0,012192	0,006096	0,000300
18	17 080	93,59	51	0,012954	0,006477	0,000319
19	18 040	98,85	54	0,013716	0,006858	0,000338
20	19 090	104,60	58	0,014732	0,007366	0,000363
21	20 030	109,75	61	0,015494	0,007747	0,000381
22	21 050	115,34	64	0,016256	0,008128	0,000400
23	22 020	120,66	67	0,017018	0,008509	0,000419
24	23 070	126,41	69	0,017526	0,008763	0,000431
25	24 090	132,00	71	0,018034	0,009017	0,000444
26	25 040	137,21	75	0,019050	0,009525	0,000469
27	26 080	142,91	78	0,019812	0,009906	0,000488
28	27 030	148,11	81	0,020574	0,010287	0,000506
29	28 050	153,70	84,5	0,021463	0,010732	0,000528
30	29 090	159,40	88	0,022352	0,011176	0,000550
31	30 020	164,49	91	0,023114	0,011557	0,000569
32	31 080	170,30	95	0,024130	0,012065	0,000594
33	32 030	175,51	99	0,025146	0,012573	0,000619
34	33 010	180,88	103	0,026162	0,013081	0,000644
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,59	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 040	11,18	5	0,001270	0,000635	0,000031
4	3 050	16,71	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
5	4 070	22,30	10	0,002540	0,001270	0,000063
6	5 090	27,89	13	0,003302	0,001651	0,000081
7	6 030	33,04	16	0,004064	0,002032	0,000100
8	7 050	38,63	19	0,004826	0,002413	0,000119
9	8 070	44,22	22	0,005588	0,002794	0,000138
10	9 090	49,81	26	0,006604	0,003302	0,000163
11	10 030	54,96	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 020	60,38	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 080	66,19	35	0,008890	0,004445	0,000219
14	13 010	71,29	38	0,009652	0,004826	0,000238
15	14 050	76,99	41	0,010414	0,005207	0,000256
16	15 030	82,36	45	0,011430	0,005715	0,000281
17	16 070	88,06	49	0,012446	0,006223	0,000306
18	17 020	93,26	52	0,013208	0,006604	0,000325
19	18 090	99,12	54	0,013716	0,006858	0,000338
20	19 030	104,27	55	0,013970	0,006985	0,000344
21	20 080	110,03	57	0,014478	0,007239	0,000356
22	21 040	115,29	61	0,015494	0,007747	0,000381
23	22 010	120,60	65	0,016510	0,008255	0,000406
24	23 090	126,52	67	0,017018	0,008509	0,000419
25	24 050	131,78	69	0,017526	0,008763	0,000431
26	25 020	137,10	72	0,018288	0,009144	0,000450
27	26 080	142,91	75	0,019050	0,009525	0,000469
28	27 030	148,11	78	0,019812	0,009906	0,000488
29	28 070	153,81	82	0,020828	0,010414	0,000513
30	29 010	158,96	86	0,021844	0,010922	0,000538
31	30 050	164,66	90	0,022860	0,011430	0,000563
32	31 020	169,97	93	0,023622	0,011811	0,000581
33	32 080	175,78	97	0,024638	0,012319	0,000606
34	33 040	181,04	101	0,025654	0,012827	0,000631

Gráfico 78. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000406	11,40		175,51	0,000619
0,000050	σ (0,00005)		179,636	ε 0,4σmax
0,0000625	16,55		180,88	0,000644
σ (0,00005)=	13,60	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000638
Ec1=	**282 381,92**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	11,18		175,78	0,000606
0,000050	σ (0,00005)		179,636	ε 0,4σmax
0,0000531	16,71		181,04	0,000631
σ (0,00005)=	15,92	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000625
Ec2=	**284 935,78**	**kgf/cm²**		

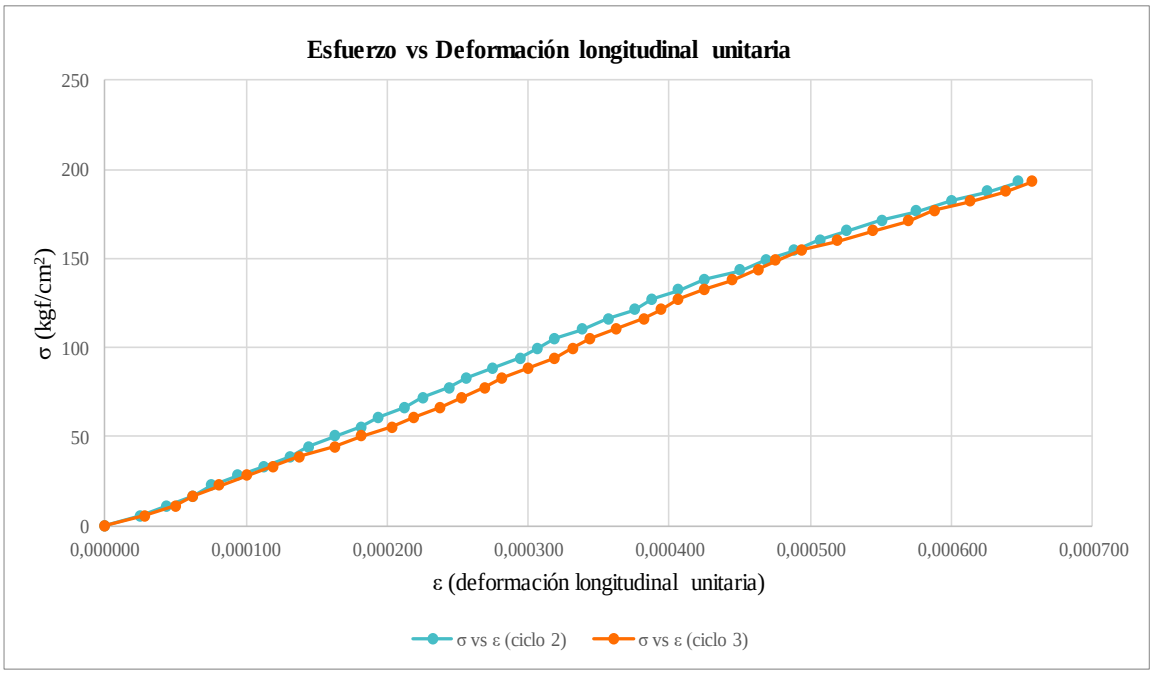
Tabla 110. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	10%-0,40-1	**Resistencia máxima:**	478,98	kgf/cm²
Edad:	32 dias	**Carga de rotura:**	86 960,69	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,20	cm
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	181,55	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,56	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 030	11,18	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 040	16,74	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 070	22,42	12	0,003048	0,001524	0,000075
6	5 090	28,04	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 020	33,16	18	0,004572	0,002286	0,000113
8	7 040	38,78	21	0,005334	0,002667	0,000131
9	8 060	44,39	23	0,005842	0,002921	0,000144
10	9 080	50,01	26	0,006604	0,003302	0,000163
11	10 020	55,19	29	0,007366	0,003683	0,000181
12	11 030	60,75	31	0,007874	0,003937	0,000194
13	12 050	66,37	34	0,008636	0,004318	0,000213
14	13 010	71,66	36	0,009144	0,004572	0,000225
15	14 070	77,50	39	0,009906	0,004953	0,000244
16	15 040	82,84	41	0,010414	0,005207	0,000256
17	16 020	88,24	44	0,011176	0,005588	0,000275
18	17 080	94,08	47	0,011938	0,005969	0,000294
19	18 030	99,31	49	0,012446	0,006223	0,000306
20	19 090	105,15	51	0,012954	0,006477	0,000319
21	20 010	110,22	54	0,013716	0,006858	0,000338
22	21 070	116,05	57	0,014478	0,007239	0,000356
23	22 030	121,34	60	0,015240	0,007620	0,000375
24	23 080	127,12	62	0,015748	0,007874	0,000388
25	24 010	132,25	65	0,016510	0,008255	0,000406
26	25 060	138,03	68	0,017272	0,008636	0,000425
27	26 020	143,32	72	0,018288	0,009144	0,000450
28	27 080	149,16	75	0,019050	0,009525	0,000469
29	28 040	154,44	78	0,019812	0,009906	0,000488
30	29 090	160,23	81	0,020574	0,010287	0,000506
31	30 010	165,30	84	0,021336	0,010668	0,000525
32	31 070	171,13	88	0,022352	0,011176	0,000550
33	32 030	176,42	92	0,023368	0,011684	0,000575
34	33 080	182,20	96	0,024384	0,012192	0,000600
35	34 040	187,49	100	0,025400	0,012700	0,000625
36	35 010	192,84	103,5	0,026289	0,013145	0,000647
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,62	4,5	0,001143	0,000572	0,000028
3	2 040	11,24	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 050	16,80	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 070	22,42	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 090	28,04	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	33,21	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 050	38,83	22	0,005588	0,002794	0,000138
9	8 070	44,45	26	0,006604	0,003302	0,000163
10	9 090	50,07	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	10 030	55,25	32,5	0,008255	0,004128	0,000203
12	11 020	60,70	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 080	66,54	38	0,009652	0,004826	0,000238
14	13 010	71,66	40,5	0,010287	0,005144	0,000253
15	14 050	77,39	43	0,010922	0,005461	0,000269
16	15 030	82,79	45	0,011430	0,005715	0,000281
17	16 070	88,51	48	0,012192	0,006096	0,000300
18	17 020	93,75	51	0,012954	0,006477	0,000319
19	18 090	99,64	53	0,013462	0,006731	0,000331
20	19 030	104,82	55	0,013970	0,006985	0,000344
21	20 080	110,60	58	0,014732	0,007366	0,000363
22	21 040	115,89	61	0,015494	0,007747	0,000381
23	22 010	121,23	63	0,016002	0,008001	0,000394
24	23 090	127,18	65	0,016510	0,008255	0,000406
25	24 050	132,47	68	0,017272	0,008636	0,000425
26	25 020	137,81	71	0,018034	0,009017	0,000444
27	26 080	143,65	74	0,018796	0,009398	0,000463
28	27 030	148,88	76	0,019304	0,009652	0,000475
29	28 070	154,61	79	0,020066	0,010033	0,000494
30	29 010	159,79	83	0,021082	0,010541	0,000519
31	30 050	165,52	87	0,022098	0,011049	0,000544
32	31 020	170,86	91	0,023114	0,011557	0,000569
33	32 080	176,70	94	0,023876	0,011938	0,000588
34	33 040	181,98	98	0,024892	0,012446	0,000613
35	34 010	187,33	102	0,025908	0,012954	0,000638
36	35 060	193,11	105	0,026670	0,013335	0,000657

Gráfico 79. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,18		187,49	0,000625
0,000050	σ (0,00005)		191,592	ε 0,4σmax
0,0000625	16,74		192,84	0,000647
σ (0,00005)=	13,03	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000642
Ec1=	**301 576,61**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000281	5,62		187,33	0,000638
0,000050	σ (0,00005)		191,592	ε 0,4σmax
0,0000500	11,24		193,11	0,000657
σ (0,00005)=	11,23	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000652
Ec2=	**299 780,39**	**kgf/cm²**		

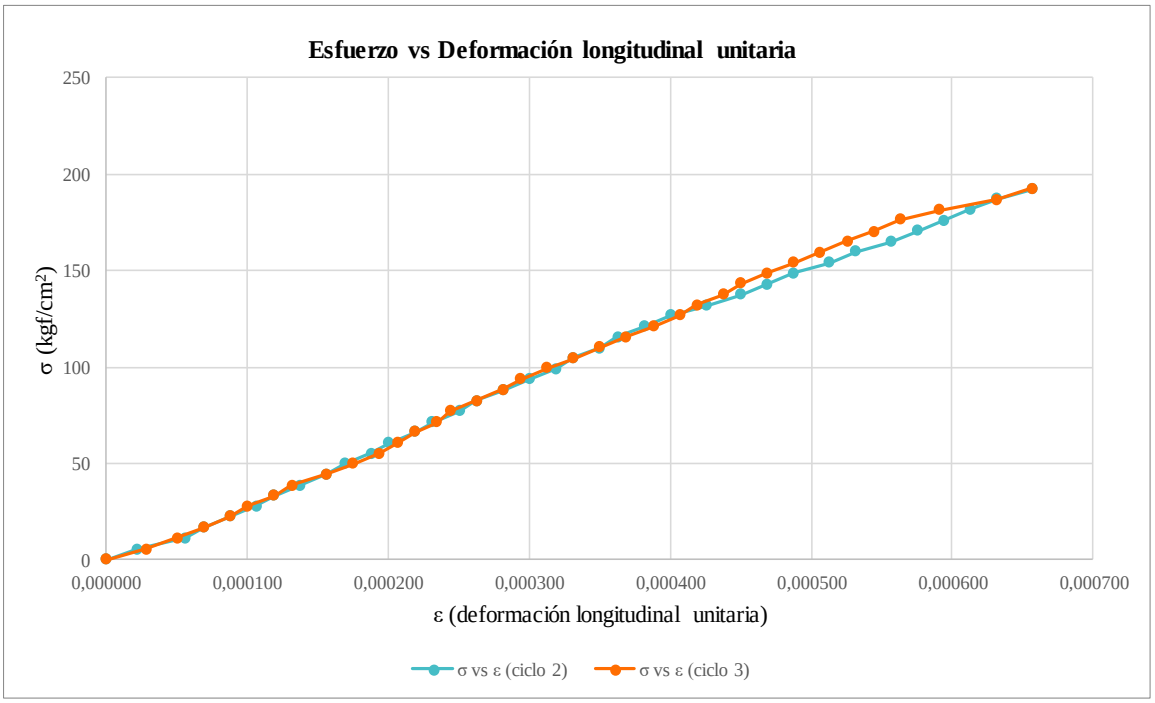
Tabla 111. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo				
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático				
Norma:	ASTM C469				
Lugar:	Cusco				
Muestra:	10%-0,40-2	**Resistencia máxima:**	478,98	kgf/cm²	
Edad:	32 dias	**Carga de rotura:**	87 206,81	kg	
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm	
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,23	cm	
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	182,07	cm²	

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,55	3,5	0,000889	0,000445	0,000022
3	2 030	11,15	9	0,002286	0,001143	0,000056
4	3 040	16,70	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 070	22,35	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 090	27,96	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 020	33,06	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 040	38,67	22	0,005588	0,002794	0,000138
9	8 060	44,27	25	0,006350	0,003175	0,000156
10	9 080	49,87	27	0,006858	0,003429	0,000169
11	10 020	55,03	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 030	60,58	32	0,008128	0,004064	0,000200
13	12 050	66,18	35	0,008890	0,004445	0,000219
14	13 010	71,46	37	0,009398	0,004699	0,000231
15	14 070	77,28	40	0,010160	0,005080	0,000250
16	15 040	82,61	42	0,010668	0,005334	0,000263
17	16 020	87,99	45	0,011430	0,005715	0,000281
18	17 080	93,81	48	0,012192	0,006096	0,000300
19	18 030	99,03	51	0,012954	0,006477	0,000319
20	19 090	104,85	53	0,013462	0,006731	0,000331
21	20 010	109,90	56	0,014224	0,007112	0,000350
22	21 070	115,73	58	0,014732	0,007366	0,000363
23	22 030	121,00	61	0,015494	0,007747	0,000381
24	23 080	126,77	64	0,016256	0,008128	0,000400
25	24 010	131,87	68	0,017272	0,008636	0,000425
26	25 060	137,64	72	0,018288	0,009144	0,000450
27	26 020	142,91	75	0,019050	0,009525	0,000469
28	27 080	148,74	78	0,019812	0,009906	0,000488
29	28 040	154,01	82	0,020828	0,010414	0,000513
30	29 090	159,78	85	0,021590	0,010795	0,000532
31	30 010	164,83	89	0,022606	0,011303	0,000557
32	31 070	170,65	92	0,023368	0,011684	0,000575
33	32 030	175,92	95	0,024130	0,012065	0,000594
34	33 080	181,69	98	0,024892	0,012446	0,000613
35	34 040	186,96	101	0,025654	0,012827	0,000632
36	35 010	192,29	105	0,026670	0,013335	0,000657
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 020	5,60	4,5	0,001143	0,000572	0,000028
3	2 040	11,20	8	0,002032	0,001016	0,000050
4	3 050	16,75	11	0,002794	0,001397	0,000069
5	4 070	22,35	14	0,003556	0,001778	0,000088
6	5 090	27,96	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	33,12	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 050	38,72	21	0,005334	0,002667	0,000131
9	8 070	44,32	25	0,006350	0,003175	0,000156
10	9 090	49,93	28	0,007112	0,003556	0,000175
11	10 030	55,09	31	0,007874	0,003937	0,000194
12	11 020	60,53	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 080	66,35	35	0,008890	0,004445	0,000219
14	13 010	71,46	37,5	0,009525	0,004763	0,000234
15	14 050	77,17	39	0,009906	0,004953	0,000244
16	15 030	82,55	42	0,010668	0,005334	0,000263
17	16 070	88,26	45	0,011430	0,005715	0,000281
18	17 020	93,48	47	0,011938	0,005969	0,000294
19	18 090	99,36	50	0,012700	0,006350	0,000313
20	19 030	104,52	53	0,013462	0,006731	0,000331
21	20 080	110,29	56	0,014224	0,007112	0,000350
22	21 040	115,56	59	0,014986	0,007493	0,000369
23	22 010	120,89	62	0,015748	0,007874	0,000388
24	23 090	126,82	65	0,016510	0,008255	0,000406
25	24 050	132,09	67	0,017018	0,008509	0,000419
26	25 020	137,42	70	0,017780	0,008890	0,000438
27	26 080	143,24	72	0,018288	0,009144	0,000450
28	27 030	148,46	75	0,019050	0,009525	0,000469
29	28 070	154,17	78	0,019812	0,009906	0,000488
30	29 010	159,34	81	0,020574	0,010287	0,000506
31	30 050	165,05	84	0,021336	0,010668	0,000525
32	31 020	170,38	87	0,022098	0,011049	0,000544
33	32 080	176,20	90	0,022860	0,011430	0,000563
34	33 040	181,47	94,5	0,024003	0,012002	0,000591
35	34 010	186,80	101	0,025654	0,012827	0,000632
36	35 060	192,57	105	0,026670	0,013335	0,000657

Gráfico 80. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000219	5,55		186,96	0,000632
0,000050	σ (0,00005)		191,592	ε 0,4σmax
0,0000563	11,15		192,29	0,000657
σ (0,00005)=	10,13	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000653
Ec1=	**300 791,60**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000281	5,60		186,80	0,000632
0,000050	σ (0,00005)		191,592	ε 0,4σmax
0,0000500	11,20		192,57	0,000657
σ (0,00005)=	11,20	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000652
Ec2=	**299 483,08**	**kgf/cm²**		

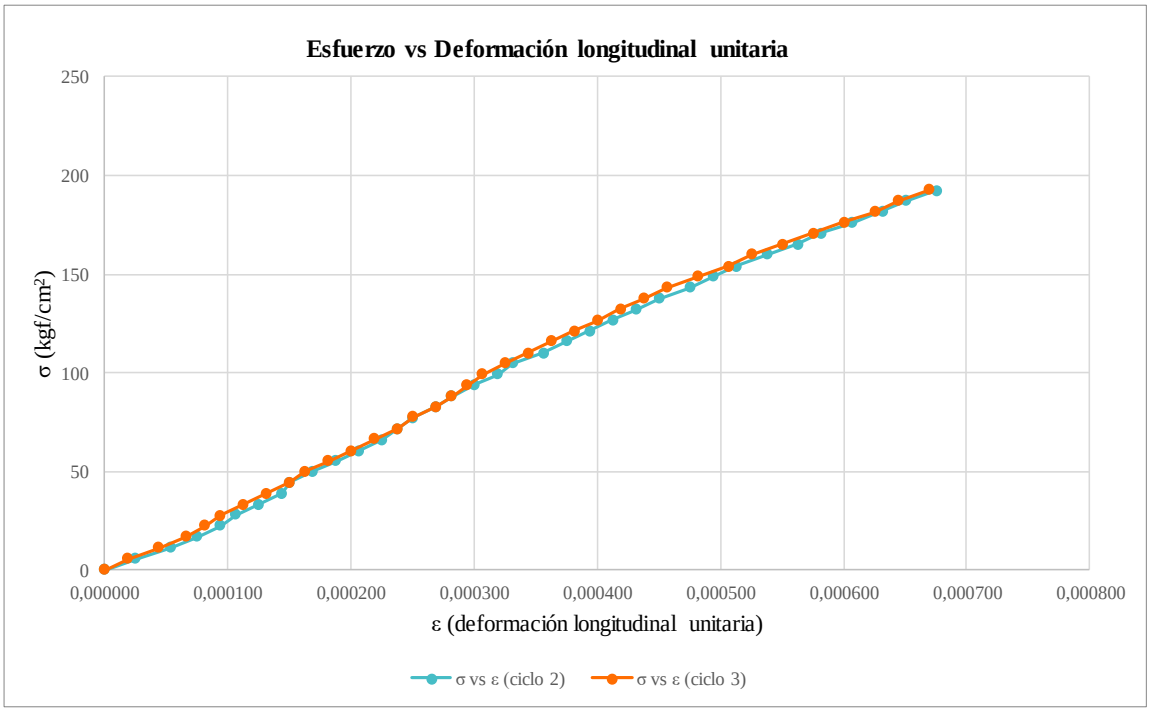
Tabla 112. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	10%-0,40-3	**Resistencia máxima:**	478,98	kgf/cm²
Edad:	32 días	**Carga de rotura:**	87 201,08	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	4/10/2025	**Diámetro:**	15,23	cm
Fecha de ensayo:	5/11/2025	**Área:**	182,06	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 010	5,55	4	0,001016	0,000508	0,000025
3	2 030	11,15	8,5	0,002159	0,001080	0,000053
4	3 040	16,70	12	0,003048	0,001524	0,000075
5	4 060	22,30	15	0,003810	0,001905	0,000094
6	5 080	27,90	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 020	33,07	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 040	38,67	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 060	44,27	24	0,006096	0,003048	0,000150
10	9 080	49,87	27	0,006858	0,003429	0,000169
11	10 020	55,04	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 030	60,59	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 050	66,19	36	0,009144	0,004572	0,000225
14	13 010	71,46	38	0,009652	0,004826	0,000238
15	14 070	77,28	40	0,010160	0,005080	0,000250
16	15 040	82,61	43	0,010922	0,005461	0,000269
17	16 020	88,00	45	0,011430	0,005715	0,000281
18	17 080	93,82	48	0,012192	0,006096	0,000300
19	18 030	99,04	51	0,012954	0,006477	0,000319
20	19 090	104,86	53	0,013462	0,006731	0,000331
21	20 010	109,91	57	0,014478	0,007239	0,000356
22	21 070	115,73	60	0,015240	0,007620	0,000375
23	22 030	121,01	63	0,016002	0,008001	0,000394
24	23 080	126,77	66	0,016764	0,008382	0,000413
25	24 010	131,88	69	0,017526	0,008763	0,000431
26	25 060	137,65	72	0,018288	0,009144	0,000450
27	26 020	142,92	76	0,019304	0,009652	0,000475
28	27 080	148,75	79	0,020066	0,010033	0,000494
29	28 040	154,02	82	0,020828	0,010414	0,000513
30	29 090	159,79	86	0,021844	0,010922	0,000538
31	30 010	164,84	90	0,022860	0,011430	0,000563
32	31 070	170,66	93	0,023622	0,011811	0,000582
33	32 030	175,94	97	0,024638	0,012319	0,000607
34	33 080	181,70	101	0,025654	0,012827	0,000632
35	34 040	186,98	104	0,026416	0,013208	0,000650
36	35 010	192,30	108	0,027432	0,013716	0,000675
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,66	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 050	11,26	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 070	16,86	10,5	0,002667	0,001334	0,000066
5	4 090	22,47	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 010	27,52	15	0,003810	0,001905	0,000094
7	6 030	33,12	18	0,004572	0,002286	0,000113
8	7 050	38,72	21	0,005334	0,002667	0,000131
9	8 070	44,33	24	0,006096	0,003048	0,000150
10	9 090	49,93	26	0,006604	0,003302	0,000163
11	10 050	55,20	29	0,007366	0,003683	0,000181
12	11 020	60,53	32	0,008128	0,004064	0,000200
13	12 070	66,30	35	0,008890	0,004445	0,000219
14	13 030	71,57	38	0,009652	0,004826	0,000238
15	14 090	77,39	40	0,010160	0,005080	0,000250
16	15 060	82,72	43	0,010922	0,005461	0,000269
17	16 010	87,94	45	0,011430	0,005715	0,000281
18	17 050	93,65	47	0,011938	0,005969	0,000294
19	18 030	99,04	49	0,012446	0,006223	0,000306
20	19 070	104,75	52	0,013208	0,006604	0,000325
21	20 020	109,97	55	0,013970	0,006985	0,000344
22	21 090	115,84	58	0,014732	0,007366	0,000363
23	22 050	121,12	61	0,015494	0,007747	0,000381
24	23 010	126,39	64	0,016256	0,008128	0,000400
25	24 080	132,27	67	0,017018	0,008509	0,000419
26	25 040	137,54	70	0,017780	0,008890	0,000438
27	26 010	142,87	73	0,018542	0,009271	0,000456
28	27 070	148,69	77	0,019558	0,009779	0,000481
29	28 030	153,96	81	0,020574	0,010287	0,000506
30	29 090	159,79	84	0,021336	0,010668	0,000525
31	30 020	164,89	88	0,022352	0,011176	0,000550
32	31 080	170,72	92	0,023368	0,011684	0,000575
33	32 040	175,99	96	0,024384	0,012192	0,000600
34	33 010	181,32	100	0,025400	0,012700	0,000625
35	34 070	187,14	103	0,026162	0,013081	0,000644
36	35 030	192,41	107	0,027178	0,013589	0,000669

Gráfico 81. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para una muestra de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000532	11,15		186,98	0,000650
0,000050	σ (0,00005)		191,592	ε 0,4σmax
0,0000750	16,70		192,30	0,000675
σ (0,00005)=	10,35	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000672
Ec1=	**291 387,26**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,26		187,14	0,000644
0,000050	σ (0,00005)		191,592	ε 0,4σmax
0,0000657	16,86		192,41	0,000669
σ (0,00005)=	12,85	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000665
Ec2=	**290 543,53**	**kgf/cm²**		

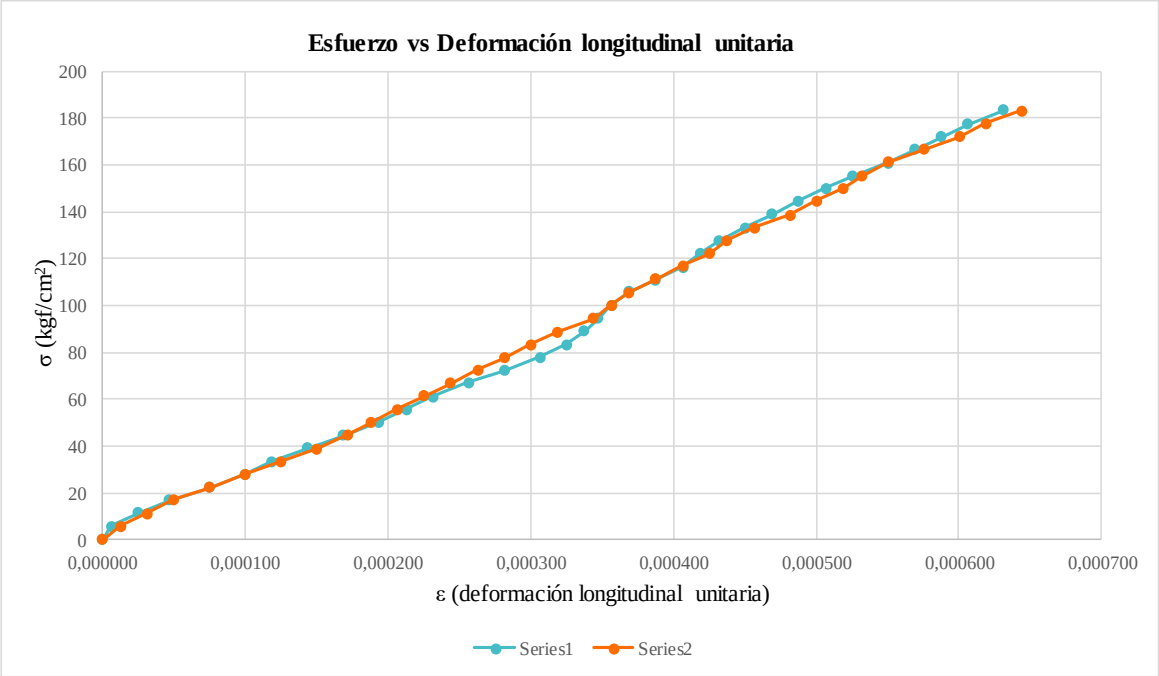
Tabla 113. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Opt.-Obra-1	**Resistencia máxima:**	452,67	kgf/cm²
Edad:	28 días	**Carga de rotura:**	81 709,02	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	7/11/2025	**Diámetro:**	15,16	cm
Fecha de ensayo:	5/12/2025	**Área:**	180,50	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Líneas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,71	1	0,000254	0,000127	0,000006
3	2 070	11,47	4	0,001016	0,000508	0,000025
4	3 040	16,84	7,5	0,001905	0,000953	0,000047
5	4 060	22,49	12	0,003048	0,001524	0,000075
6	5 090	28,20	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	33,41	19	0,004826	0,002413	0,000119
8	7 060	39,11	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 020	44,43	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 050	50,14	31	0,007874	0,003937	0,000194
11	10 080	55,84	34	0,008636	0,004318	0,000213
12	11 040	61,16	37	0,009398	0,004699	0,000231
13	12 090	66,98	41	0,010414	0,005207	0,000256
14	13 020	72,13	45	0,011430	0,005715	0,000281
15	14 070	77,95	49	0,012446	0,006223	0,000306
16	15 010	83,16	52	0,013208	0,006604	0,000325
17	16 080	89,08	54	0,013716	0,006858	0,000338
18	17 030	94,35	55,5	0,014097	0,007049	0,000347
19	18 060	100,05	57	0,014478	0,007239	0,000356
20	19 090	105,76	59	0,014986	0,007493	0,000369
21	20 040	111,02	62	0,015748	0,007874	0,000388
22	21 020	116,45	65	0,016510	0,008255	0,000406
23	22 080	122,32	67	0,017018	0,008509	0,000419
24	23 010	127,48	69	0,017526	0,008763	0,000431
25	24 060	133,29	72	0,018288	0,009144	0,000450
26	25 090	139,00	75	0,019050	0,009525	0,000469
27	26 090	144,54	78	0,019812	0,009906	0,000488
28	27 050	149,86	81	0,020574	0,010287	0,000506
29	28 020	155,23	84	0,021336	0,010668	0,000525
30	29 040	160,88	88	0,022352	0,011176	0,000550
31	30 070	166,59	91	0,023114	0,011557	0,000569
32	31 010	171,80	94	0,023876	0,011938	0,000588
33	32 030	177,45	97	0,024638	0,012319	0,000607
34	33 070	183,21	101	0,025654	0,012827	0,000632
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,87	2	0,000508	0,000254	0,000013
3	2 020	11,19	5	0,001270	0,000635	0,000031
4	3 090	17,12	8	0,002032	0,001016	0,000050
5	4 010	22,22	12	0,003048	0,001524	0,000075
6	5 070	28,09	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 040	33,46	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 030	38,95	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	8 080	44,76	27,5	0,006985	0,003493	0,000172
10	9 020	49,97	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	10 050	55,68	33	0,008382	0,004191	0,000206
12	11 090	61,44	36	0,009144	0,004572	0,000225
13	12 030	66,65	39	0,009906	0,004953	0,000244
14	13 080	72,46	42	0,010668	0,005334	0,000263
15	14 020	77,67	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 060	83,43	48	0,012192	0,006096	0,000300
17	16 010	88,70	51	0,012954	0,006477	0,000319
18	17 040	94,40	55	0,013970	0,006985	0,000344
19	18 070	100,11	57	0,014478	0,007239	0,000356
20	19 030	105,43	59	0,014986	0,007493	0,000369
21	20 080	111,24	62	0,015748	0,007874	0,000388
22	21 090	116,84	65	0,016510	0,008255	0,000406
23	22 010	121,94	68	0,017272	0,008636	0,000425
24	23 070	127,81	70	0,017780	0,008890	0,000438
25	24 030	133,13	73	0,018542	0,009271	0,000456
26	25 020	138,61	77	0,019558	0,009779	0,000481
27	26 090	144,54	80	0,020320	0,010160	0,000500
28	27 060	149,91	83	0,021082	0,010541	0,000519
29	28 010	155,18	85	0,021590	0,010795	0,000532
30	29 090	161,16	88	0,022352	0,011176	0,000550
31	30 060	166,53	92	0,023368	0,011684	0,000575
32	31 040	171,96	96	0,024384	0,012192	0,000600
33	32 080	177,72	99	0,025146	0,012573	0,000619
34	33 030	182,99	103	0,026162	0,013081	0,000644

Gráfico 82. *Primer ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000469	16,84		177,45	0,000607
0,000050	σ (0,00005)		181,068	ε 0,4σmax
0,0000750	22,49		183,21	0,000632
σ (0,00005)=	17,46	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000622
Ec1=	**285 886,00**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000313	11,19		177,72	0,000619
0,000050	σ (0,00005)		181,068	ε 0,4σmax
0,0000500	17,12		182,99	0,000644
σ (0,00005)=	17,11	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000635
Ec2=	**280 294,00**	**kgf/cm²**		

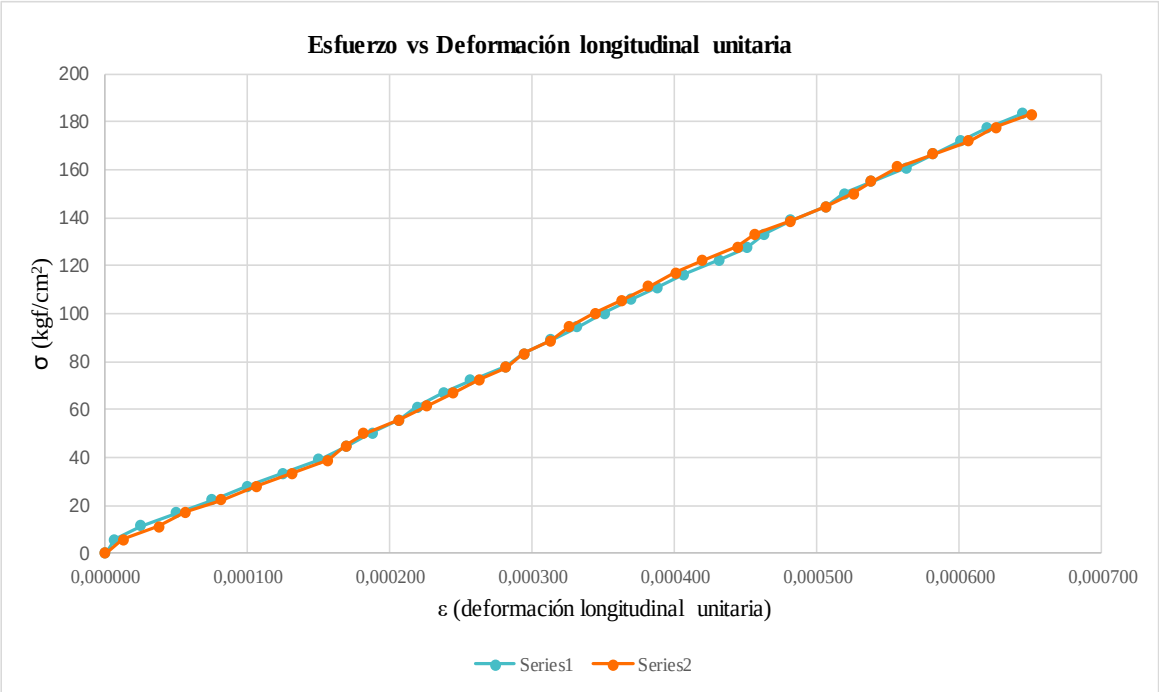
Tabla 114. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Opt.-Obra-2	**Resistencia máxima:**	452,67	kgf/cm²
Edad:	28 dias	**Carga de rotura:**	81 709,02	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	7/11/2025	**Diámetro:**	15,16	cm
Fecha de ensayo:	5/12/2025	**Área:**	180,50	cm^2

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,71	1	0,000254	0,000127	0,000006
3	2 070	11,47	4	0,001016	0,000508	0,000025
4	3 040	16,84	8	0,002032	0,001016	0,000050
5	4 060	22,49	12	0,003048	0,001524	0,000075
6	5 090	28,20	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	33,41	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 060	39,11	24	0,006096	0,003048	0,000150
9	8 020	44,43	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 050	50,14	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	10 080	55,84	33	0,008382	0,004191	0,000206
12	11 040	61,16	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 090	66,98	38	0,009652	0,004826	0,000238
14	13 020	72,13	41	0,010414	0,005207	0,000256
15	14 070	77,95	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 010	83,16	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	16 080	89,08	50	0,012700	0,006350	0,000313
18	17 030	94,35	53	0,013462	0,006731	0,000331
19	18 060	100,05	56	0,014224	0,007112	0,000350
20	19 090	105,76	59	0,014986	0,007493	0,000369
21	20 040	111,02	62	0,015748	0,007874	0,000388
22	21 020	116,45	65	0,016510	0,008255	0,000406
23	22 080	122,32	69	0,017526	0,008763	0,000431
24	23 010	127,48	72	0,018288	0,009144	0,000450
25	24 060	133,29	74	0,018796	0,009398	0,000463
26	25 090	139,00	77	0,019558	0,009779	0,000481
27	26 090	144,54	81	0,020574	0,010287	0,000506
28	27 050	149,86	83	0,021082	0,010541	0,000519
29	28 020	155,23	86	0,021844	0,010922	0,000538
30	29 040	160,88	90	0,022860	0,011430	0,000563
31	30 070	166,59	93	0,023622	0,011811	0,000582
32	31 010	171,80	96	0,024384	0,012192	0,000600
33	32 030	177,45	99	0,025146	0,012573	0,000619
34	33 070	183,21	103	0,026162	0,013081	0,000644
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,87	2	0,000508	0,000254	0,000013
3	2 020	11,19	6	0,001524	0,000762	0,000038
4	3 090	17,12	9	0,002286	0,001143	0,000056
5	4 010	22,22	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 070	28,09	17	0,004318	0,002159	0,000106
7	6 040	33,46	21	0,005334	0,002667	0,000131
8	7 030	38,95	25	0,006350	0,003175	0,000156
9	8 080	44,76	27	0,006858	0,003429	0,000169
10	9 020	49,97	29	0,007366	0,003683	0,000181
11	10 050	55,68	33	0,008382	0,004191	0,000206
12	11 090	61,44	36	0,009144	0,004572	0,000225
13	12 030	66,65	39	0,009906	0,004953	0,000244
14	13 080	72,46	42	0,010668	0,005334	0,000263
15	14 020	77,67	45	0,011430	0,005715	0,000281
16	15 060	83,43	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	16 010	88,70	50	0,012700	0,006350	0,000313
18	17 040	94,40	52	0,013208	0,006604	0,000325
19	18 070	100,11	55	0,013970	0,006985	0,000344
20	19 030	105,43	58	0,014732	0,007366	0,000363
21	20 080	111,24	61	0,015494	0,007747	0,000381
22	21 090	116,84	64	0,016256	0,008128	0,000400
23	22 010	121,94	67	0,017018	0,008509	0,000419
24	23 070	127,81	71	0,018034	0,009017	0,000444
25	24 030	133,13	73	0,018542	0,009271	0,000456
26	25 020	138,61	77	0,019558	0,009779	0,000481
27	26 090	144,54	81	0,020574	0,010287	0,000506
28	27 060	149,91	84	0,021336	0,010668	0,000525
29	28 010	155,18	86	0,021844	0,010922	0,000538
30	29 090	161,16	89	0,022606	0,011303	0,000557
31	30 060	166,53	93	0,023622	0,011811	0,000582
32	31 040	171,96	97	0,024638	0,012319	0,000607
33	32 080	177,72	100	0,025400	0,012700	0,000625
34	33 030	182,99	104	0,026416	0,013208	0,000650

Gráfico 83. *Segundo ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000250	11,47		177,45	0,000619
0,000050	σ (0,00005)		181,068	ε 0,4σmax
0,0000500	16,84		183,21	0,000644
σ (0,00005)=	16,84	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000635
Ec1=	**280 846,25**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,19		177,72	0,000625
0,000050	σ (0,00005)		181,068	ε 0,4σmax
0,0000563	17,12		182,99	0,000650
σ (0,00005)=	15,13	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000641
Ec2=	**280 671,61**	**kgf/cm²**		

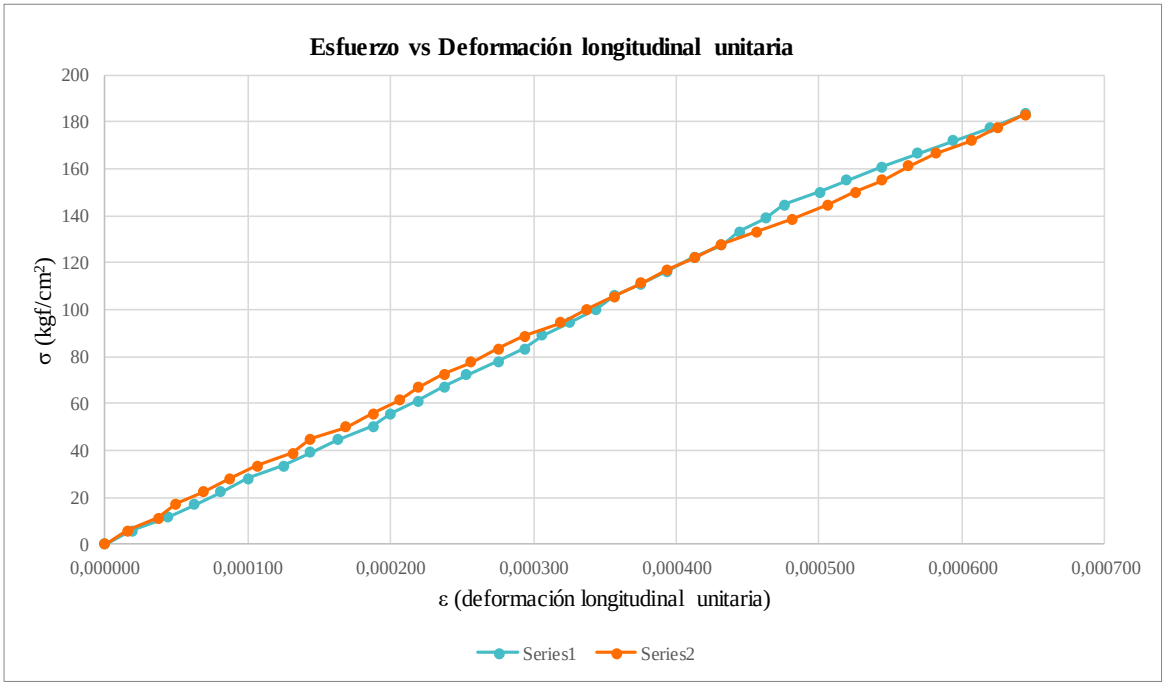
Tabla 115. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Tesis:	**Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimento rígido, Cusco - 2024**			
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach. Fray Luis Choccata Sotelo			
Ensayo:	Ensayo normalizado para el módulo de elasticidad estático			
Norma:	ASTM C469			
Lugar:	Cusco			
Muestra:	Opt.-Obra-3	**Resistencia máxima:**	452,67	kgf/cm²
Edad:	28 dias	**Carga de rotura:**	81 709,02	kg
Material:	Concreto	**Longitud de medición:**	20,31	cm
F. de elaboración:	7/11/2025	**Diámetro:**	15,16	cm
Fecha de ensayo:	5/12/2025	**Área:**	180,50	cm²

N°	Carga (kg)	Esfuerzo (kgf/cm²)	Deformación Longitudinal en el Dial (Lineas)	Deformación Longitudinal (cm)	Deformación Longitudinal Efectiva (cm)	Deformación Longitudinal Unitaria
Ciclo 2						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 030	5,71	3	0,000762	0,000381	0,000019
3	2 070	11,47	7	0,001778	0,000889	0,000044
4	3 040	16,84	10	0,002540	0,001270	0,000063
5	4 060	22,49	13	0,003302	0,001651	0,000081
6	5 090	28,20	16	0,004064	0,002032	0,000100
7	6 030	33,41	20	0,005080	0,002540	0,000125
8	7 060	39,11	23	0,005842	0,002921	0,000144
9	8 020	44,43	26	0,006604	0,003302	0,000163
10	9 050	50,14	30	0,007620	0,003810	0,000188
11	10 080	55,84	32	0,008128	0,004064	0,000200
12	11 040	61,16	35	0,008890	0,004445	0,000219
13	12 090	66,98	38	0,009652	0,004826	0,000238
14	13 020	72,13	40,5	0,010287	0,005144	0,000253
15	14 070	77,95	44	0,011176	0,005588	0,000275
16	15 010	83,16	47	0,011938	0,005969	0,000294
17	16 080	89,08	49	0,012446	0,006223	0,000306
18	17 030	94,35	52	0,013208	0,006604	0,000325
19	18 060	100,05	55	0,013970	0,006985	0,000344
20	19 090	105,76	57	0,014478	0,007239	0,000356
21	20 040	111,02	60	0,015240	0,007620	0,000375
22	21 020	116,45	63	0,016002	0,008001	0,000394
23	22 080	122,32	66	0,016764	0,008382	0,000413
24	23 010	127,48	69	0,017526	0,008763	0,000431
25	24 060	133,29	71	0,018034	0,009017	0,000444
26	25 090	139,00	74	0,018796	0,009398	0,000463
27	26 090	144,54	76	0,019304	0,009652	0,000475
28	27 050	149,86	80	0,020320	0,010160	0,000500
29	28 020	155,23	83	0,021082	0,010541	0,000519
30	29 040	160,88	87	0,022098	0,011049	0,000544
31	30 070	166,59	91	0,023114	0,011557	0,000569
32	31 010	171,80	95	0,024130	0,012065	0,000594
33	32 030	177,45	99	0,025146	0,012573	0,000619
34	33 070	183,21	103	0,026162	0,013081	0,000644
Ciclo 3						
1	0	0	0	0,000000	0,000000	0,000000
2	1 060	5,87	2,5	0,000635	0,000318	0,000016
3	2 020	11,19	6	0,001524	0,000762	0,000038
4	3 090	17,12	8	0,002032	0,001016	0,000050
5	4 010	22,22	11	0,002794	0,001397	0,000069
6	5 070	28,09	14	0,003556	0,001778	0,000088
7	6 040	33,46	17	0,004318	0,002159	0,000106
8	7 030	38,95	21	0,005334	0,002667	0,000131
9	8 080	44,76	23	0,005842	0,002921	0,000144
10	9 020	49,97	27	0,006858	0,003429	0,000169
11	10 050	55,68	30	0,007620	0,003810	0,000188
12	11 090	61,44	33	0,008382	0,004191	0,000206
13	12 030	66,65	35	0,008890	0,004445	0,000219
14	13 080	72,46	38	0,009652	0,004826	0,000238
15	14 020	77,67	41	0,010414	0,005207	0,000256
16	15 060	83,43	44	0,011176	0,005588	0,000275
17	16 010	88,70	47	0,011938	0,005969	0,000294
18	17 040	94,40	51	0,012954	0,006477	0,000319
19	18 070	100,11	54	0,013716	0,006858	0,000338
20	19 030	105,43	57	0,014478	0,007239	0,000356
21	20 080	111,24	60	0,015240	0,007620	0,000375
22	21 090	116,84	63	0,016002	0,008001	0,000394
23	22 010	121,94	66	0,016764	0,008382	0,000413
24	23 070	127,81	69	0,017526	0,008763	0,000431
25	24 030	133,13	73	0,018542	0,009271	0,000456
26	25 020	138,61	77	0,019558	0,009779	0,000481
27	26 090	144,54	81	0,020574	0,010287	0,000506
28	27 060	149,91	84	0,021336	0,010668	0,000525
29	28 010	155,18	87	0,022098	0,011049	0,000544
30	29 090	161,16	90	0,022860	0,011430	0,000563
31	30 060	166,53	93	0,023622	0,011811	0,000582
32	31 040	171,96	97	0,024638	0,012319	0,000607
33	32 080	177,72	100	0,025400	0,012700	0,000625
34	33 030	182,99	103	0,026162	0,013081	0,000644

Gráfico 84. *Tercer ensayo del módulo de elasticidad para la muestra optima de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*



Módulo de elasticidad (Ec)

$$E_C = \frac{0{,}4\sigma_{máx} - \sigma(0{,}00005)}{\varepsilon_{0{,}4\sigma_{máx}} - 0{,}00005}$$

Ciclo 2				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000438	11,47		177,45	0,000619
0,000050	σ (0,00005)		181,068	ε 0,4σmax
0,0000625	16,84		183,21	0,000644
σ (0,00005)=	13,25	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000635
Ec1=	**286 975,64**	**kgf/cm²**		

Ciclo 3				
Interpolamos para hallar σ (0,00005)			Interpolamos para hallar ε 0,4σmax	
ε	σ		σ	ε
0,0000375	11,19		177,72	0,000625
0,000050	σ (0,00005)		181,068	ε 0,4σmax
0,0000500	17,12		182,99	0,000644
σ (0,00005)=	17,11	kgf/cm²	ε 0,4σmax=	0,000637
Ec2=	**279 212,33**	**kgf/cm²**		

Anexo 24. *Resumen de resultados del módulo de elasticidad de las muestras prismáticas de concreto.*

Codigo	Ec (kgf/cm²)	Ec (Promedio) (kgf/cm²)
Patrón-0,60-1	217 866,39	
Patrón-0,60-2	220 914,20	218 863,75
Patrón-0,60-3	217 810,66	
4%-0,60-1	226 215,56	
4%-0,40-2	226 513,71	227 703,39
4%-0,60-3	230 380,90	
6%-0,60-1	233 910,13	
6%-0,60-2	237 485,32	233 207,24
6%-0,60-3	228 226,28	
8%-0,60-1	245 035,90	
8%-0,60-2	246 718,83	247 736,14
8%-0,60-3	251 453,68	
10%-0,60-1	251 779,94	
10%-0,40-2	257 076,18	253 791,64
10%-0,60-3	252 518,82	
Patrón-0,50-1	244 484,40	
Patrón-0,50-2	239 347,01	240 753,91
Patrón-0,50-3	238 430,34	
4%-0,50-1	260 509,36	
4%-0,50-2	252 493,58	254 093,36
4%-0,50-3	249 277,13	
6%-0,50-1	259 788,98	
6%-0,50-2	261 013,79	260 773,94
6%-0,50-3	261 519,05	
8%-0,50-1	271 183,54	
8%-0,50-2	269 188,76	270 228,15
8%-0,50-3	270 312,15	
10%-0,50-1	281 885,54	
10%-0,50-2	286 075,43	285 402,53
10%-0,50-3	288 246,63	
Patrón-0,40-1	262 262,30	
Patrón-0,40-2	269 468,87	266 973,02
Patrón-0,40-3	269 187,89	
4%-0,40-1	278 881,87	
4%-0,40-2	276 584,31	275 614,52
4%-0,40-3	271 377,38	
6%-0,40-1	276 966,61	
6%-0,40-2	282 161,38	279 403,03
6%-0,40-3	279 081,09	
8%-0,40-1	282 881,09	
8%-0,40-2	282 721,92	283 087,29
8%-0,40-3	283 658,85	
10%-0,40-1	300 678,50	
10%-0,40-2	300 137,34	297 260,41
10%-0,40-3	290 965,40	
Opt. Obra-1	283 090,00	
Opt. Obra-2	280 758,93	282 314,30
Opt. Obra-3	283 093,99	

Anexo 25. *Matriz de consistencia.*

Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con mineral de microsílice para pavimentos rígidos, Cusco_2024						
Problema	**Objetivos**	**Hipótesis**	**Variables**	**Dimenciones**	**Indicadores**	**Metodología**
Problema general: ¿Cómo influye la relación agua/cemento y el porcentaje de microsílice en el módulo de elasticidad del concreto para pavimentos rígidos?	**Objetivo general:** Evaluar la influencia de la relación agua/cemento y el porcentaje de microsílice en el módulo de elasticidad del concreto para pavimentos rígidos.	**Hipótesis general:** La combinación de las relaciones agua/cemento evaluadas (0.40, 0.50 y 0.60) y los porcentajes de microsílice comprendidos (entre 4 % y 10 %) mejora significativamente el módulo de elasticidad del concreto destinado a pavimentos rígidos.	**Variable independiente:** Relación agua /cemento Microsílice	Proporción de dosificación Contenido de aditivo mineral	Porcentaje de reemplazo respecto al peso del cemento Peso del agua Peso del cemento Homogeneidad de la mezcla	**Tipo de investigación** Aplicado **Nivel de investigación** Experimental **Enfoque de investigación** Cuantitativo **Diseño de la investigación** Experimental **Muestra** No probabilistica **Instrumentos de recolección de datos** Deformímetros Anillos Maquina universal de ensayos Maquina de compresión **Técnicas de análisis de datos** Análisis estadistico mediante la metodología de superfice de respuesta
Problemas específicos: ¿Cómo varía el módulo de elasticidad del concreto con diferentes porcentajes de microsílice (0% , 4%,6%,8% y 10%)?	**Objetivos específicos:** Determinar el módulo de elasticidad del concreto con diferentes porcentajes de microsílice (0%, 4%, 6%, 8%, 10%).	**Hipotesís especificas:** El módulo de elasticidad del concreto aumenta con la incorporación de microsílice, siendo más significativo el incremento en porcentajes de microsílice entre 6% y 10% del peso del cemento.	**Variables dependientes:** Módulo de elasticidad	Propiedades mecánicas del concreto	Esfuerzo aplicado Deformación unitaria Relación esfuerzo-deformación	
¿Qué efecto tiene la relación agua/cemento (0.4, 0.5, 0.6) en el módulo de elasticidad del concreto?	Analizar el efecto de la relación agua/cemento (0.4, 0.5, 0.6) en el módulo de elasticidad.	Una menor relación agua/cemento (0.4) genera un módulo de elasticidad más alto en comparación con relaciones mayores (0.5 y 0.6), debido a una mejor compacidad y menor porosidad en la matriz del concreto.				
¿Qué combinación de factores maximiza el módulo de elasticidad del concreto?	Identificar la combinación óptima de agua/cemento y microsílice que maximice el módulo de elasticidad.	La combinación de una relación agua/cemento de 0.4 y un porcentaje de microsílice entre 8% y 10% maximiza el módulo de elasticidad del concreto, debido a una reducción óptima de vacíos y una mejora en la cohesión.				

Anexo 26. *Análisis de costos unitarios de los 15 diseños de concreto.*

Tabla 116. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=0%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,40, Patron**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	12,64	23,53	297,42	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,22	98,40	21,65	
Agua	m3	0,215	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**456,46**	

Tabla 117. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=0%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0.50, Patron**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	10,15	23,53	238,83	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,26	98,40	25,58	
Agua	m3	0,216	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**401,81**	

Tabla 118. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=0%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,60 Patron**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	8,47	23,53	199,30	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,28	98,40	27,55	
Agua	m3	0,217	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**364,25**	

Tabla 119. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=4%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,40; Microsilice=4%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	12,13	23,53	285,42	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,22	98,40	21,65	
Microsilice	bls.	0,86	160,00	137,60	
Agua	m3	0,215	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**582,06**	

Tabla 120. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=4%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,50; Microsilice=4%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	9,74	23,53	229,18	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,26	98,40	25,58	
Microsilice	bls.	0,69	160,00	110,40	
Agua	m3	0,216	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**502,56**	

Tabla 121. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=4%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,60; Microsilice=4%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	8,13	23,53	191,30	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,28	98,40	27,55	
Microsilice	bls.	0,58	160,00	92,80	
Agua	m3	0,217	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**449,05**	

Tabla 122. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=6%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,40; Microsilice=6%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	11,88	23,53	279,54	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,22	98,40	21,65	
Microsilice	bls.	1,29	160,00	206,40	
Agua	m3	0,215	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**644,98**	

Tabla 123. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=6%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,50; Microsilice=6%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	9,54	23,53	224,48	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,26	98,40	25,58	
Microsilice	bls.	1,03	160,00	164,80	
Agua	m3	0,216	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**552,26**	

Tabla 124. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=6%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,60; Microsilice=6%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	7,97	23,53	187,53	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,28	98,40	27,55	
Microsilice	bls.	0,86	160,00	137,60	
Agua	m3	0,217	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**490,09**	

Tabla 125. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=8%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,40; Microsilice=8%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	11,63	23,53	273,65	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,22	98,40	21,65	
Microsilice	bls.	1,72	160,00	275,20	
Agua	m3	0,215	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**707,90**	

Tabla 126. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=8%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,50; Microsilice=8%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	9,33	23,53	219,53	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,26	98,40	25,58	
Microsilice	bls.	1,38	160,00	220,80	
Agua	m3	0,216	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**603,32**	

Tabla 127. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=8%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,60; Microsilice=8%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	7,80	23,53	183,53	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,28	98,40	27,55	
Microsilice	bls.	1,15	160,00	184,00	
Agua	m3	0,217	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**532,49**	

Tabla 128. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.40 y microsílice=10%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,40; Microsilice=10%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	11,37	23,53	267,54	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,22	98,40	21,65	
Microsilice	bls.	2,15	160,00	344,00	
Agua	m3	0,215	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**770,58**	

Tabla 129. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.50 y microsílice=10%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,50; Microsilice=10%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	9,13	23,53	214,83	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,26	98,40	25,58	
Microsilice	bls.	1,72	160,00	275,20	
Agua	m3	0,216	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**653,01**	

Tabla 130. *Análisis de costos unitarios para un diseño de relación a/c= 0.60 y microsílice=10%.*

ANALISIS DE COSTOS UNITARIOS					
Tesis:	"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS, CUSCO - 2024"				
Tesistas:	Bach. Anderson Santoyo Puclla				
	Bach.Fray Luis Choccata Sotelo				
Especificaciones :	Preparacion con mezcladora 9-11 pies3 y vibradora.				
PARTIDA:	**OE.2.2.1**	**Vaciados de concreto a/c=0,60; Microsilice=10%**			
RENDIMIENTO	m3/dia	MO.=	20	EQ.=	20
CUADRILLA BASE:	OPERARIO	2			
	OFICIAL	2	Costo unitario directo por:		m3
	PEONES	8			
DESCRIPCION	**UNIDAD**	**CANTIDAD**	**P.UNIT.**	**PARCIAL**	
MATERIALES					
Cemento	bls.	7,63	23,53	179,53	
Agregado grueso	m3	0,40	53,30	21,32	
Agregado fino	m3	0,28	98,40	27,55	
Microsilice	bls.	1,44	160,00	230,40	
Agua	m3	0,217	1,40	0,30	
MANO DE OBRA					
OPERARIO	h.h.	0,80	22,46	17,97	
OFICIAL	h.h.	0,80	17,50	14,00	
PEÓN	h.h.	3,20	15,88	50,82	
EQUIPO HERRAMIENTAS					
Mezc. 9-11 p3	h.m	0,40	52,26	20,90	
vibrador 4HP	h.m	0,40	24,01	9,60	
herramientas		3%	82,78	2,48	
		COSTO DIRECTO TOTAL		**574,89**	

Anexo 27. *Ficha técnica del cemento sol.*



FICHA TÉCNICA
CEMENTO SOL

DESCRIPCIÓN:

Tipo I, Cemento Portland de uso general.

BENEFICIOS:

- Acelerado desarrollo de resistencias iniciales.
- Óptima trabajabilidad.
- Permite menor tiempo de desencofrado.
- Excelente desarrollo de resistencias en shotcrete.
- Excelente permanencia del slump.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana NTP - 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.

APLICACIONES:

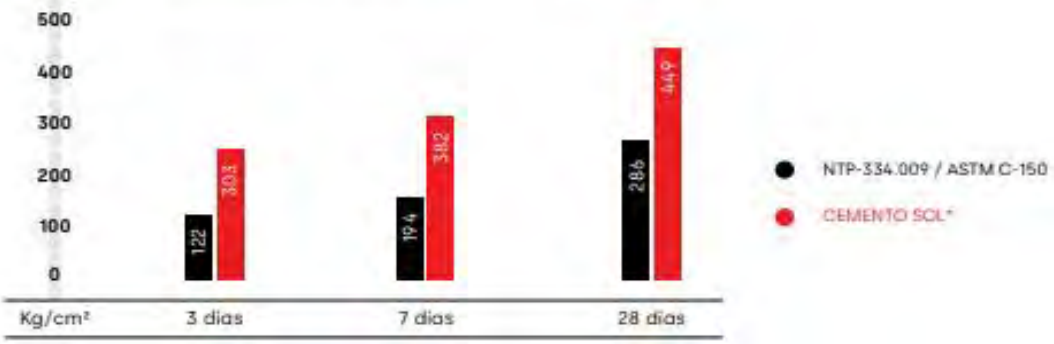
- Construcciones en general y de gran envergadura cuando no se requieren características especiales o no especifique otro tipo de cemento.
- Preparación de concretos para cimientos, sobrecimientos, zapatas, vigas, columnas y techado.

FORMATO DE DISTRIBUCIÓN:

- Bolsas de 42.5 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- Bolsas de 25 kg: 03 pliegos (02 de papel + 01 film plástico).
- Granel: A despacharse en camiones bombonas y *big bags*.

REQUISITOS MECÁNICOS:

COMPARACIÓN RESISTENCIAS NTP-334.009 / ASTM C-150 VS. CEMENTO SOL



* Valores referenciales

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

PARÁMETRO	UNIDAD	CEMENTO SOL	REQUISITOS NTP-334.009/ ASTM C-150
Contenido de aire	%	7	Máximo 12
Expansión autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie especifica	m^2/kg	323	Mínimo 260
Densidad	g/cm^3	3.13	No especifica
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN			
Resistencia a la compresión a 3 dias	kg/cm^2	303	Mínimo 122
Resistencia a la compresión a 7 dias	kg/cm^2	382	Mínimo 194
Resistencia a la compresión a 28 dias	kg/cm^2	449	Mínimo 285 (*)
TIEMPO DE FRAGUADO			
Fraguado Vicat inicial	min	129	45 a 375
COMPOSICIÓN QUÍMICA			
MgO	%	2.9	Máximo 6.0
SO3	%	2.8	Máximo 3.5
Pérdida al fuego	%	2.2	Máximo 3.5
Residuo insoluble	%	0.9	Máximo 1.5
FASES MINERALÓGICAS			
C2S	%	12	No especifica
C3S	%	55	No especifica
C3A	%	10	No especifica
C4AF	%	10	No especifica

(*) Requisito opcional

RECOMENDACIONES GENERALES

DOSIFICACIÓN:

- Utilizar agua, arena y piedra libre de impurezas.
- Respetar la relación agua-cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias, trabajabilidad y performance del cemento.
- Para desarrollar la resistencia a la compresión del concreto y evitar grietas, se necesita curar por lo menos durante 7 días.

MANIPULACIÓN:

- Se debe manipular el cemento en ambientes ventilados.
- Usar la vestimenta y epp adecuados: casco, protectores para los ojos, guantes y botas.
- El contacto con la humedad o con el polvo de cemento sin protección puede causar irritación o daño en la piel.

ALMACENAMIENTO:

- Las bolsas con cemento deben ser almacenadas en recintos secos, protegidos de la intemperie, lluvia y humedad.
- Las bolsas deben ser colocadas sobre parihuelas de madera seca, en áreas niveladas y estables. Posteriormente cubrirlas con mantas de plástico.
- Apilar como máximo 10 bolsas de cemento y evitar tiempos prolongados de almacenamiento.

Anexo 28. *Ficha técnica del mineral de microsílice (sika fume).*

CONSTRUYENDO CONFIANZA

HOJA DE DATOS DEL PRODUCTO

SikaFume®

Adición mineral - Microsílice

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

SikaFume® es un aditivo para concreto en forma de polvo, basado en tecnología de humo de sílice.

USOS

SikaFume® se utiliza en concreto proyectado, estructural, prefabricado y otros campos de construcción de concreto en los que se requieren altas exigencias a la calidad en estado fresco y endurecido.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

SikaFume® contiene dióxido de silicio reactivo extremadamente fino. La presencia de esta sustancia imparte una gran cohesión interna y retención de agua en el concreto fresco. La capacidad de bombeo se mejora sustancialmente así como el comportamiento reológico. En el concreto endurecido, el humo de sílice forma un enlace químico con la cal libre ($CaOH_2$). La formación adicional de productos de hidratación da como resultado una matriz cementicia final significativamente más densa.

Con el uso de SikaFume®, el concreto mostrará las siguientes propiedades:

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

SikaFume® no contiene cloruros ni otras sustancias que promueven la corrosión del acero y, por lo tanto, se puede usar sin ninguna restricción para la construcción de concreto reforzado y pretensado.

CERTIFICADOS / NORMAS

SikaFume® cumple los requisitos de las normas EN 13263-1 y ASTM C1240.

INFORMACIÓN DEL PRODUCTO

Empaques	Bolsa de 25 kg Bolsa de 20 kg
Vida Útil	36 meses de vida útil a partir de la fecha de producción, si se almacena correctamente en el empaque original sellado, sin daños y sin abrir.
Condiciones de Almacenamiento	Almacenamiento en un ambiente seco.
Apariencia / Color	polvo gris o crema
Specific gravity	Peso específico: 2,200 kg/m³

INFORMACIÓN TÉCNICA

Guía de Vaciado de Concreto	Se deben seguir las reglas estándar de buenas prácticas relativas a la pro-

	ducción y la colocación de concreto. Las pruebas de laboratorio deben llevarse a cabo en el sitio para realizar los ajustes que sean necesarios, consulte con el soporte técnico de Sika en tanto sea necesario.
Diseño de la Mezcla de Concreto	Cuando se usa SikaFume®, se debe tener en cuenta un diseño de mezcla adecuado y se deben probar y acondicionar su desempeño con los materiales locales.
Condiciones de Curado	Sugerimos, como en todos los concretos, seguir las instrucciones dadas en el ACI 308 para un correcto curado del concreto.
Compatibilidad	Compatible con todos los productos Sika.

INFORMACIÓN DE APLICACIÓN

Dosificación Recomendada	5 - 10% en peso de cemento.

NOTAS

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

ECOLOGÍA, SALUD Y SEGURIDAD

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad

.

INSTRUCCIONES DE APLICACIÓN

MEZCLADO

Se dosifica y adiciona en la planta de concreto en forma similar al cemento u otros materiales cementicios. Puede dosificarse en una mezcladora central o mixer. Seguir el procedimiento indicado en la norma ASTM C94 o NTP 339.114, Especificación estándar para concreto premezclado.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto

.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados. Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A.C. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A.C. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe. La presente edición anula y reemplaza la edición anterior, misma que deberá ser destruida.

Sika Perú
Habilitación Industrial
El Lúcumo Mz. "B" Lote 6
Lurín, Lima
Tel. (511) 618-6060

Anexo 29. *Fotografías tomadas durante la realización de los ensayos.*

Fotografía 15.*Compra de los agregados fino y grueso.*



Fotografía 16. *Compra del mineral de microsílice.*



Fotografía 17. *Tamizado del agregado grueso.*



Fotografía 18. *Tamizado del agregado fino.*



Fotografía 19. *Cuarteo del agregado grueso.*



Fotografía 20. *Proceso de cuarteo del agregado grueso.*



Fotografía 21. *Ensayo de granulometría del agregado grueso.*



Fotografía 22. *Clasificación del agregado grueso según su granulometría.*



Fotografía 23. *Preparación del agregado fino para el ensayo de peso específico.*



Fotografía 24. *Ensayo de peso específico del agregado grueso.*



Fotografía 25. *Ensayo de peso unitario de agregado fino.*



Fotografía 26. *Cálculo del peso de Proctor con el agregado*



Fotografía 27. *Clasificación del agregado fino según su granulometría.*



Fotografía 28. *Ensayo de peso unitario compactado del agregado grueso.*



Fotografía 29. *Cálculo del peso sumergido del agregado grueso.*



Fotografía 30. *Cálculo del peso del agregado grueso superficialmente seco.*



Fotografía 31. *Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60.*



Fotografía 32. *Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,50.*



Fotografía 33. *Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,40.*



Fotografía 34. *Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60 y microsílice=4%.*



Fotografía 35. *Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60 y microsílice=6%.*



Fotografía 36. *Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60 y microsílice=8%.*



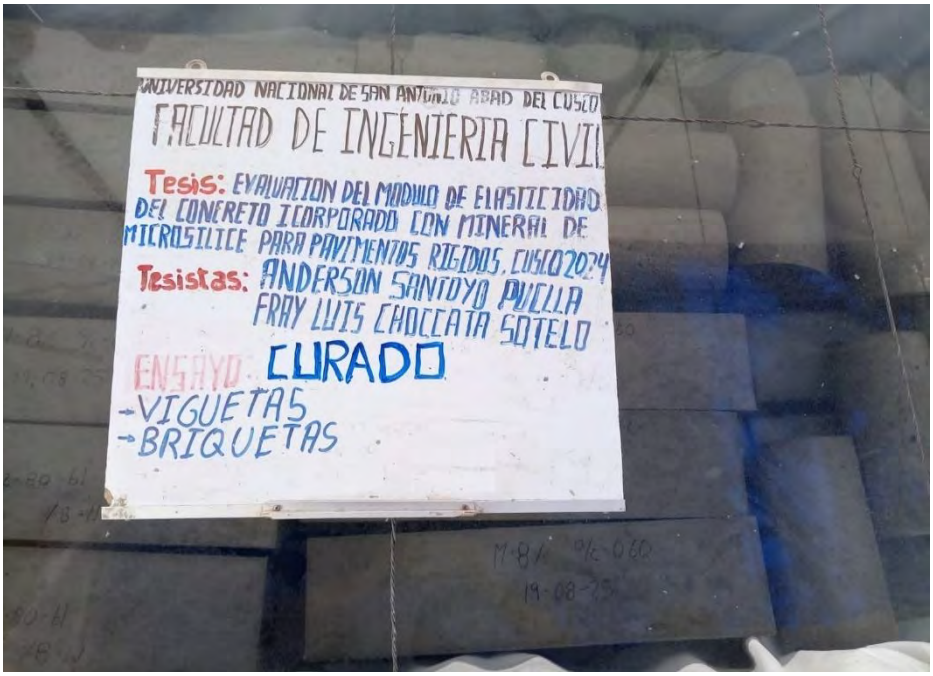
Fotografía 37. *Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,60 y microsílice=10%.*



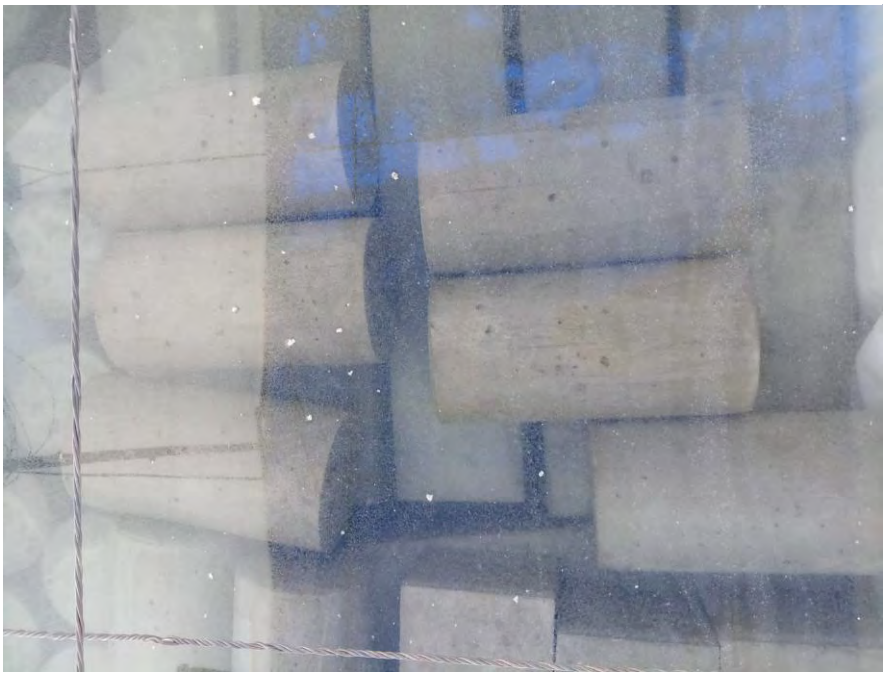
Fotografía 38. *Preparación de la mezcla de concreto con relación a/c=0,50 y microsílice=4%.*



Fotografía 39. *Curado de las viguetas de concreto.*



Fotografía 40. *Curado de las briquetas de concreto.*



Fotografía 41. *Verificación del curado de las muestras.*



Fotografía 42. *Pozo de curado de las muestras de concreto.*



Fotografía 43. *Ensayo a flexión de las viguetas a/c=0,60.*



Fotografía 44. *Ensayo a flexión de las viguetas a/c=0,50.*



Fotografía 45. *Ensayo a flexión de las viguetas a/c=0,40.*



Fotografía 46. *Ensayo a flexión de las viguetas a/c=0,60 y con microsílice.*



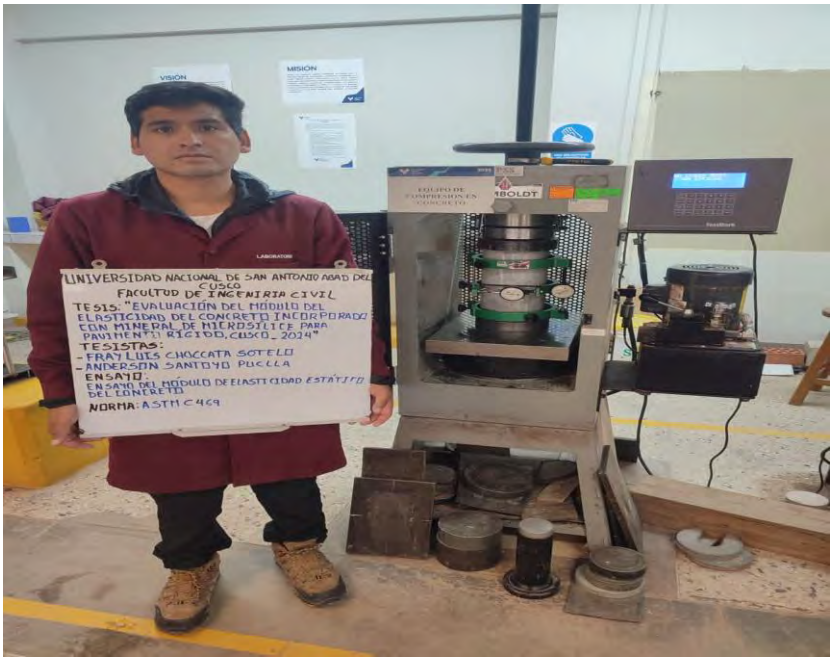
Fotografía 47. *Manejo de la máquina de compresión para el ensayo del módulo de elasticidad.*



Fotografía 48. *Grabación de los deformímetros.*



Fotografía 49. *Evidencia del ensayo del módulo de elasticidad.*



Fotografía 50. *Briqueta cilíndrica al 40% de compresión.*



Fotografía 51. *Rotura de briquetas a/c-0,60.*



Fotografía 52. *Rotura de briquetas a/c-0,50.*



Fotografía 53. *Rotura de briquetas a/c-0,40.*



Fotografía 54. *Rotura de la vigueta cuando fue sometido a flexión.*



Fotografía 55. *Preparación de materiales e instrumentos en obra.*



Fotografía 56. *Vertido del concreto en obra.*



Fotografía 57

Slump de 1,6 pulgadas para un concreto de relación a/c=0.60 y microsílice=10%.



Fotografía 58

Slump de 3,3 pulgadas para un concreto de relación a/c=0.60 y microsílice=6%.



Fotografía 59

Slump de 1,8 pulgadas para un concreto de relación a/c=0.40 y microsílice=8%.



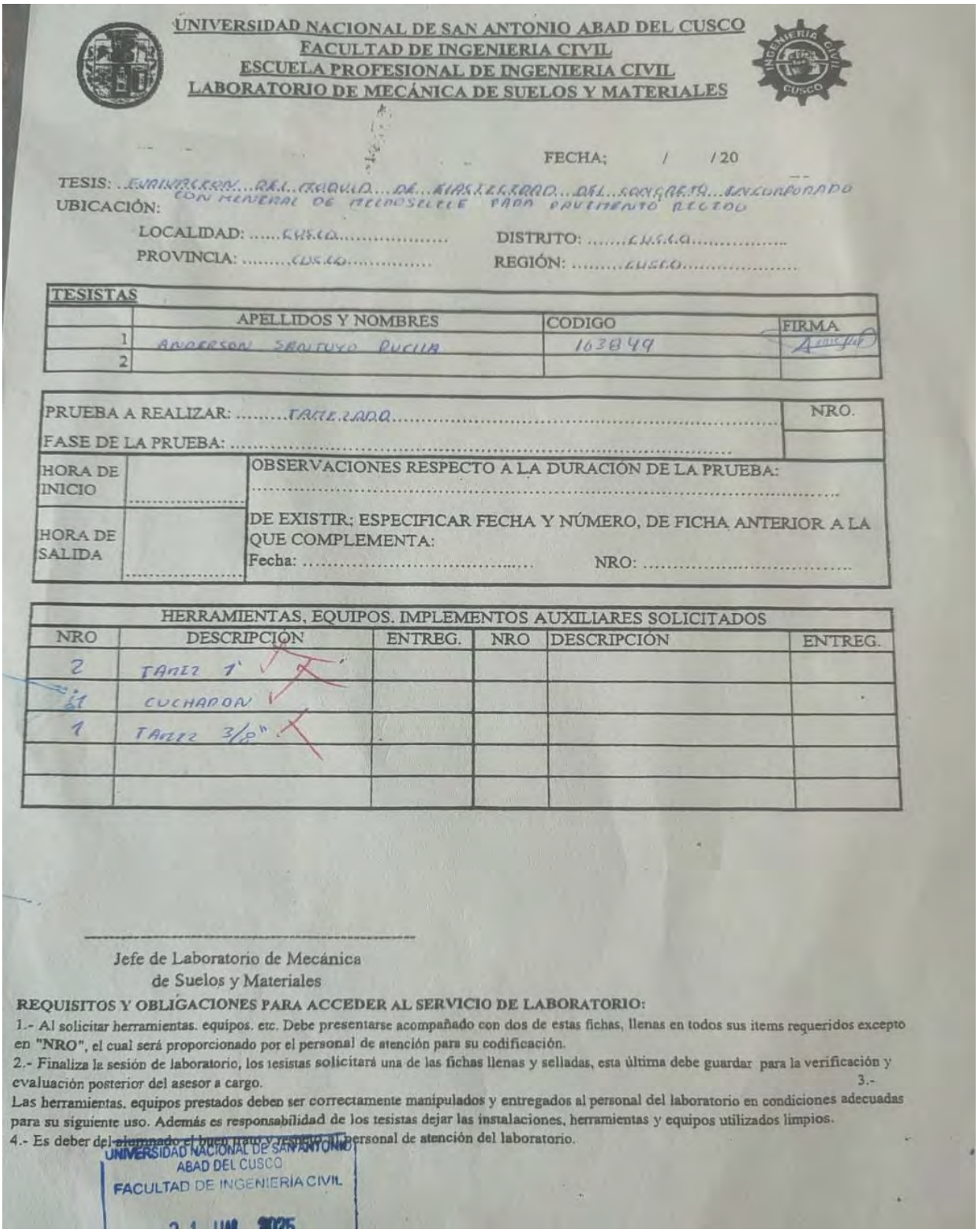
Fotografía 60

Slump de 5,4 pulgadas para un concreto de relación a/c=0.60 y microsílice=0%.



Anexo 30. *Fichas de laboratorio de la UNSAAC.*

Fotografía 61. *Ficha para realizar el tamizado del agregado.*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

FECHA: / /20

TESIS: EVALUACION DEL TRAQUEO DE BIAS ELEVADO DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE RELAVE PARA PAVIMENTO RIGIDO

UBICACIÓN:

LOCALIDAD: CUSCO DISTRITO: CUSCO

PROVINCIA: CUSCO REGIÓN: CUSCO

TESISTAS			
	APELLIDOS Y NOMBRES	CODIGO	FIRMA
1	ANDERSON SEGUNDO RUCUA	163849	
2			

PRUEBA A REALIZAR: TAMIZADO	NRO.
FASE DE LA PRUEBA:	

HORA DE INICIO		OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACION DE LA PRUEBA:
HORA DE SALIDA		DE EXISTIR; ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS. IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS					
NRO	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	NRO	DESCRIPCIÓN	ENTREG.
2	TAMIZ 1"				
1	CUCHARON				
1	TAMIZ 3/8"				

Jefe de Laboratorio de Mecánica
de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

1.- Al solicitar herramientas. equipos. etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus items requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.

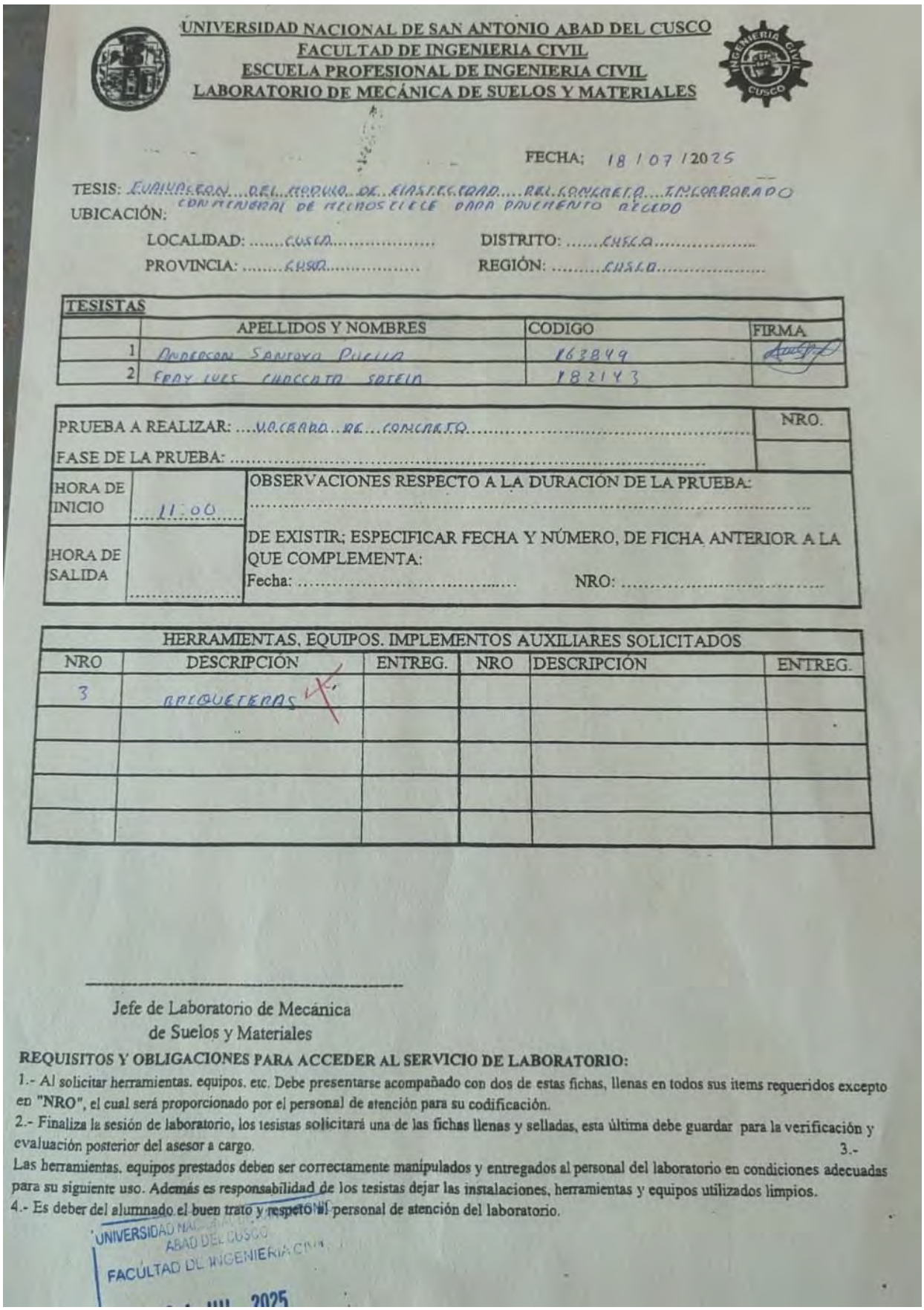
2.- Finaliza la sesión de laboratorio, los tesistas solicitará una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo. 3.-

Las herramientas. equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.

4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Fotografía 62. *Ficha de laboratorio para el preparado de concreto.*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

FECHA: 18/07/2025

TESIS: EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON FIBRAS DE ACERO DE PAVIMENTO RIGIDO
UBICACIÓN:
LOCALIDAD: CUSCO DISTRITO: CUSCO
PROVINCIA: CUSCO REGIÓN: CUSCO

TESISTAS			
	APELLIDOS Y NOMBRES	CODIGO	FIRMA
1	ANDERSON SANTOYO PUELLA	163849	
2	FRAY LUIS CHOCCATA SOTELO	182143	

PRUEBA A REALIZAR: VACIADO DE CONCRETO	NRO.
FASE DE LA PRUEBA:	

HORA DE INICIO	11:00	OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACION DE LA PRUEBA:
HORA DE SALIDA		DE EXISTIR; ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS. IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS					
NRO	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	NRO	DESCRIPCION	ENTREG.
3	ANTIQUETERAS				

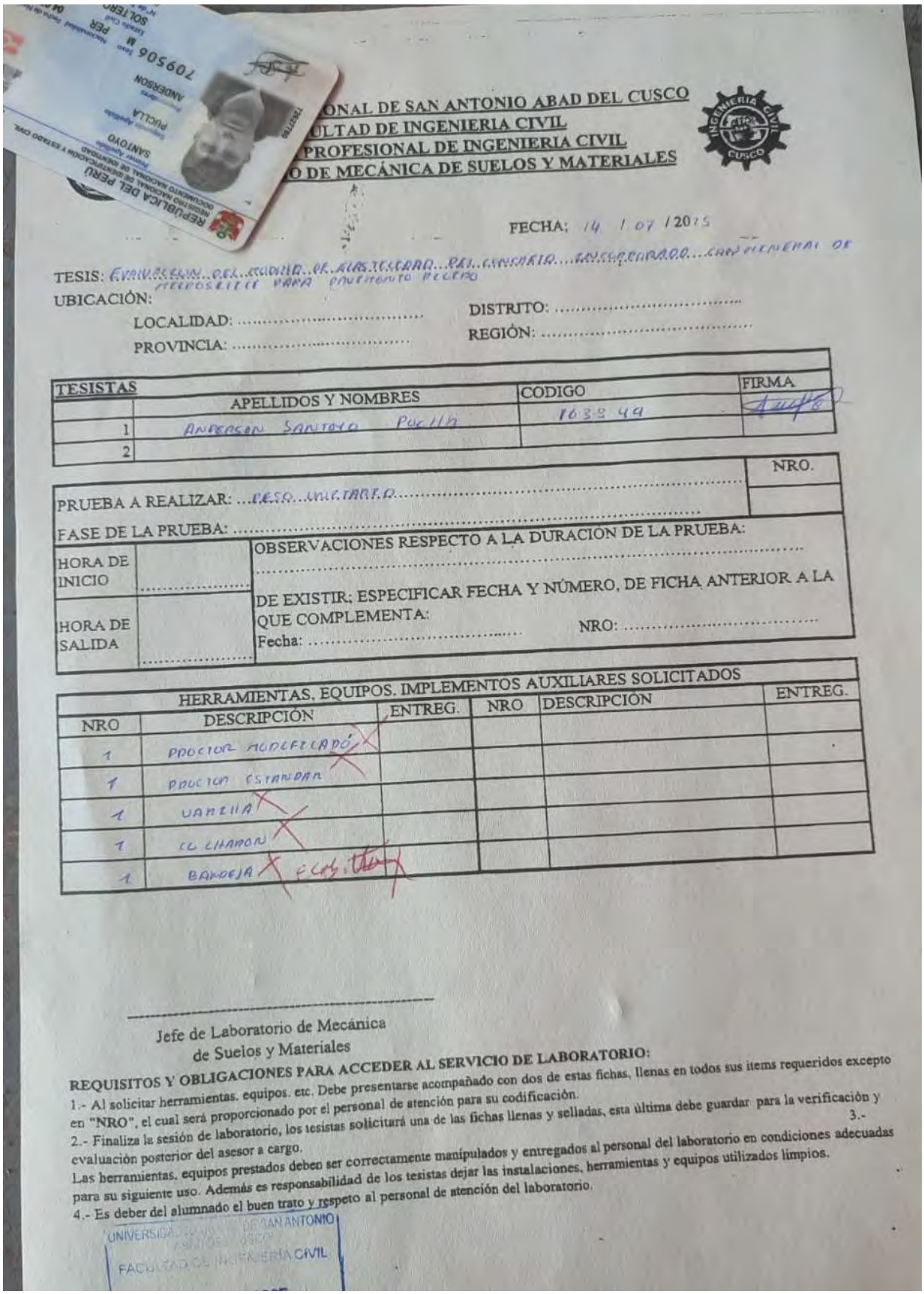
Jefe de Laboratorio de Mecánica
de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

1.- Al solicitar herramientas. equipos. etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus items requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
2.- Finaliza la sesión de laboratorio, los tesistas solicitará una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo.
3.- Las herramientas. equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
2025

Fotografía 63. *Ficha de laboratorio para el ensayo de peso unitario.*



ONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
ULTAD DE INGENIERIA CIVIL
PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
O DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

FECHA: 14 / 07 / 2015

TESIS: EVALUACION DEL ESTADO DE ALBAÑILERIA ... PARA CONFINADO ... ENCOFRADO ... CON MEZCLA DE MORTERO PARA EMPRESTITO PICCHO

UBICACIÓN:

LOCALIDAD: ..... DISTRITO: .....

PROVINCIA: ..... REGIÓN: .....

TESISTAS	APELLIDOS Y NOMBRES	CODIGO	FIRMA
1	ANDERSEN SANTOYO PUCLLA	1033 49	
2			

PRUEBA A REALIZAR: PESO UNITARIO	NRO.
FASE DE LA PRUEBA:	

		OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACION DE LA PRUEBA:
HORA DE INICIO	.....	.....
HORA DE SALIDA	.....	DE EXISTIR; ESPECIFICAR FECHA Y NÚMERO, DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA: Fecha: ..... NRO: .....

HERRAMIENTAS, EQUIPOS, IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS					
NRO	DESCRIPCIÓN	ENTREG.	NRO	DESCRIPCION	ENTREG.
1	PROCTOR MODIFICADO				
1	PROCTOR ESTANDAR				
1	VARILLA				
1	CUCHARON				
1	BANDEJA				

Jefe de Laboratorio de Mecánica
de Suelos y Materiales

REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:

1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus items requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.

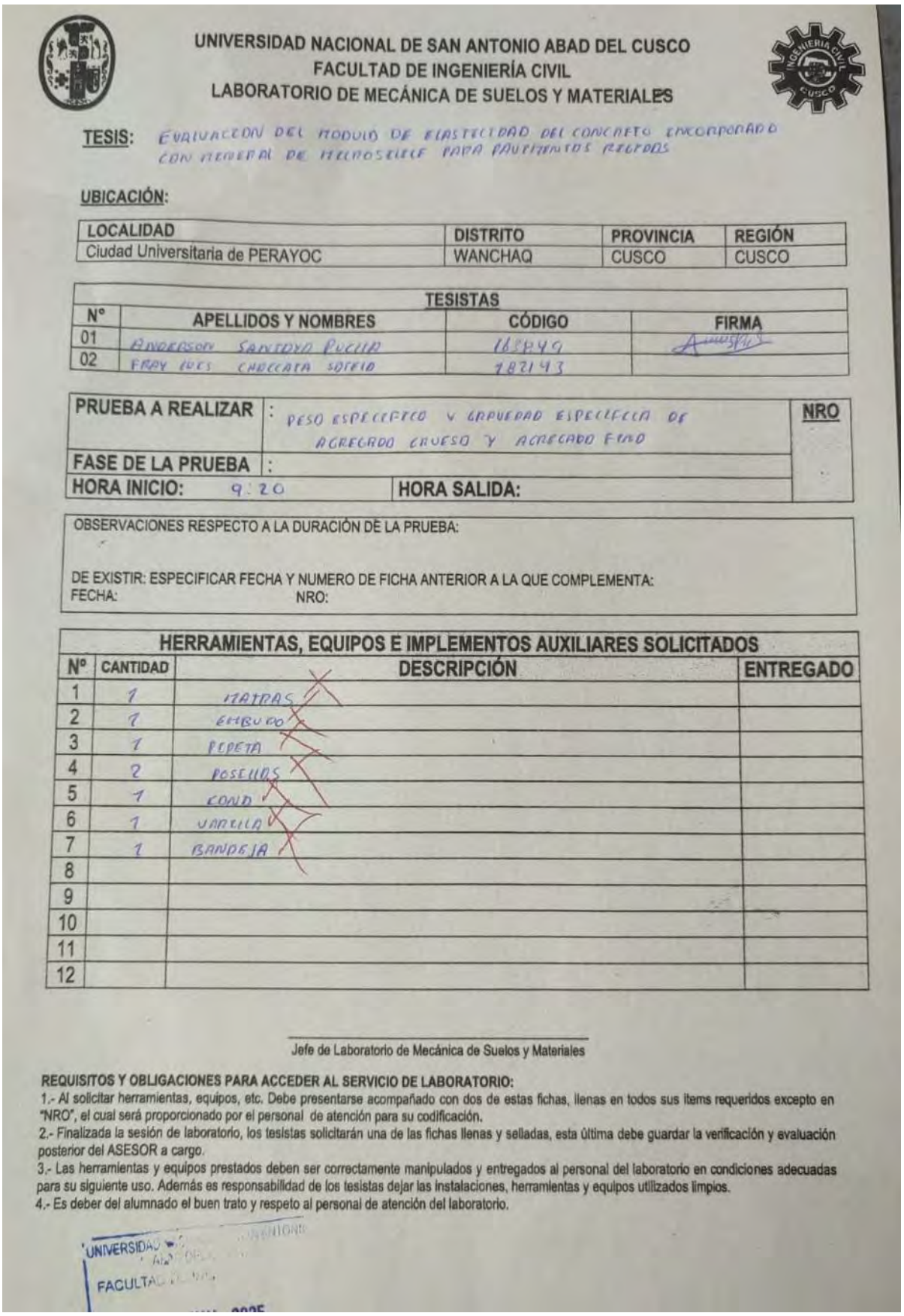
2.- Finaliza la sesión de laboratorio, los tesistas solicitará una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar para la verificación y evaluación posterior del asesor a cargo.

3.- Las herramientas, equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.

4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.

UNIVERSIDAD ... DE SAN ANTONIO
... CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Fotografía 64. *Ficha para ensayos de peso específico del agregado grueso y fino.*



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES

TESIS: EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MATERIAL DE RECICLADO PARA PAVIMENTOS RIGIDOS

UBICACIÓN:

LOCALIDAD	DISTRITO	PROVINCIA	REGIÓN
Ciudad Universitaria de PERAYOC	WANCHAQ	CUSCO	CUSCO

TESISTAS			
N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	FIRMA
01	ANDERSON SANTOYO PUCLLA	182949	
02	FRAY LUIS CHECCATA SOTELO	182143	

PRUEBA A REALIZAR	: PESO ESPECIFICO Y GRAVEDAD ESPECIFICA DE AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO	NRO
FASE DE LA PRUEBA	:	
HORA INICIO: 9:20	HORA SALIDA:	

OBSERVACIONES RESPECTO A LA DURACIÓN DE LA PRUEBA:

DE EXISTIR: ESPECIFICAR FECHA Y NUMERO DE FICHA ANTERIOR A LA QUE COMPLEMENTA:
FECHA: NRO:

HERRAMIENTAS, EQUIPOS E IMPLEMENTOS AUXILIARES SOLICITADOS			
N°	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ENTREGADO
1	1	MAYPAS	
2	1	EMBUDO	
3	1	PEPETA	
4	2	POSILLOS	
5	1	COND	
6	1	VARILLA	
7	1	BANDEJA	
8			
9			
10			
11			
12			

Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

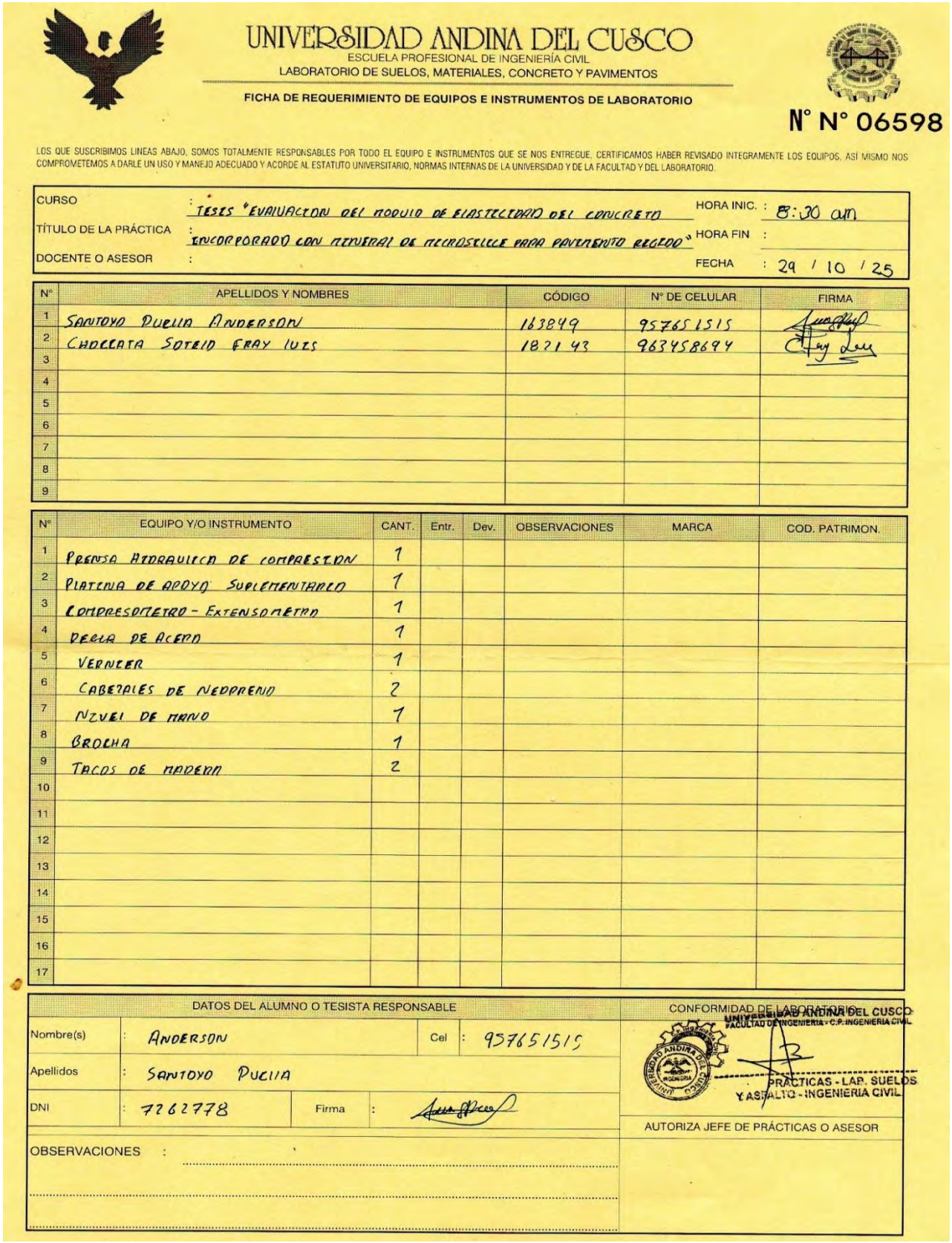
REQUISITOS Y OBLIGACIONES PARA ACCEDER AL SERVICIO DE LABORATORIO:
1.- Al solicitar herramientas, equipos, etc. Debe presentarse acompañado con dos de estas fichas, llenas en todos sus ítems requeridos excepto en "NRO", el cual será proporcionado por el personal de atención para su codificación.
2.- Finalizada la sesión de laboratorio, los tesistas solicitarán una de las fichas llenas y selladas, esta última debe guardar la verificación y evaluación posterior del ASESOR a cargo.
3.- Las herramientas y equipos prestados deben ser correctamente manipulados y entregados al personal del laboratorio en condiciones adecuadas para su siguiente uso. Además es responsabilidad de los tesistas dejar las instalaciones, herramientas y equipos utilizados limpios.
4.- Es deber del alumnado el buen trato y respeto al personal de atención del laboratorio.

UNIVERSIDAD
FACULTAD

Anexo 31

Fichas de laboratorio de la Universidad Andina del Cusco.

Fotografía 65. *Primera ficha del ensayo del módulo de elasticidad.*



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FICHA DE REQUERIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

N° N° 06598

LOS QUE SUSCRIBIMOS LINEAS ABAJO, SOMOS TOTALMENTE RESPONSABLES POR TODO EL EQUIPO E INSTRUMENTOS QUE SE NOS ENTREGUE, CERTIFICAMOS HABER REVISADO INTEGRAMENTE LOS EQUIPOS, ASÍ MISMO NOS COMPROMETEMOS A DARLE UN USO Y MANEJO ADECUADO Y ACORDE AL ESTATUTO UNIVERSITARIO, NORMAS INTERNAS DE LA UNIVERSIDAD Y DE LA FACULTAD Y DEL LABORATORIO.

CURSO : TESIS "EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO

TÍTULO DE LA PRÁCTICA : INCORPORADO CON FIBRAS DE NEUMATICO PARA PAVIMENTO RIGIDO"

DOCENTE O ASESOR :

HORA INIC. : 8:30 am

HORA FIN :

FECHA : 29 / 10 / 25

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	N° DE CELULAR	FIRMA
1	SANTOYO PUCLLA ANDERSON	163849	957651515	
2	CHOCCATA SOTELO ERAY LUIS	182143	963458694	
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

N°	EQUIPO Y/O INSTRUMENTO	CANT.	Entr.	Dev.	OBSERVACIONES	MARCA	COD. PATRIMON.
1	PRENSA HIDRAULICA DE COMPRESION	1					
2	PLATINA DE APOYO SUPLEMENTARIO	1					
3	COMPRESOMETRO - EXTENSOMETRO	1					
4	REGLA DE ACERO	1					
5	VERNIER	1					
6	CABEZALES DE NEOPRENO	2					
7	NIVEL DE MANO	1					
8	BROCHA	1					
9	TACOS DE MADERA	2					
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

DATOS DEL ALUMNO O TESISTA RESPONSABLE

Nombre(s) : ANDERSON Cel : 957651515

Apellidos : SANTOYO PUCLLA

DNI : 72627778 Firma :

OBSERVACIONES :

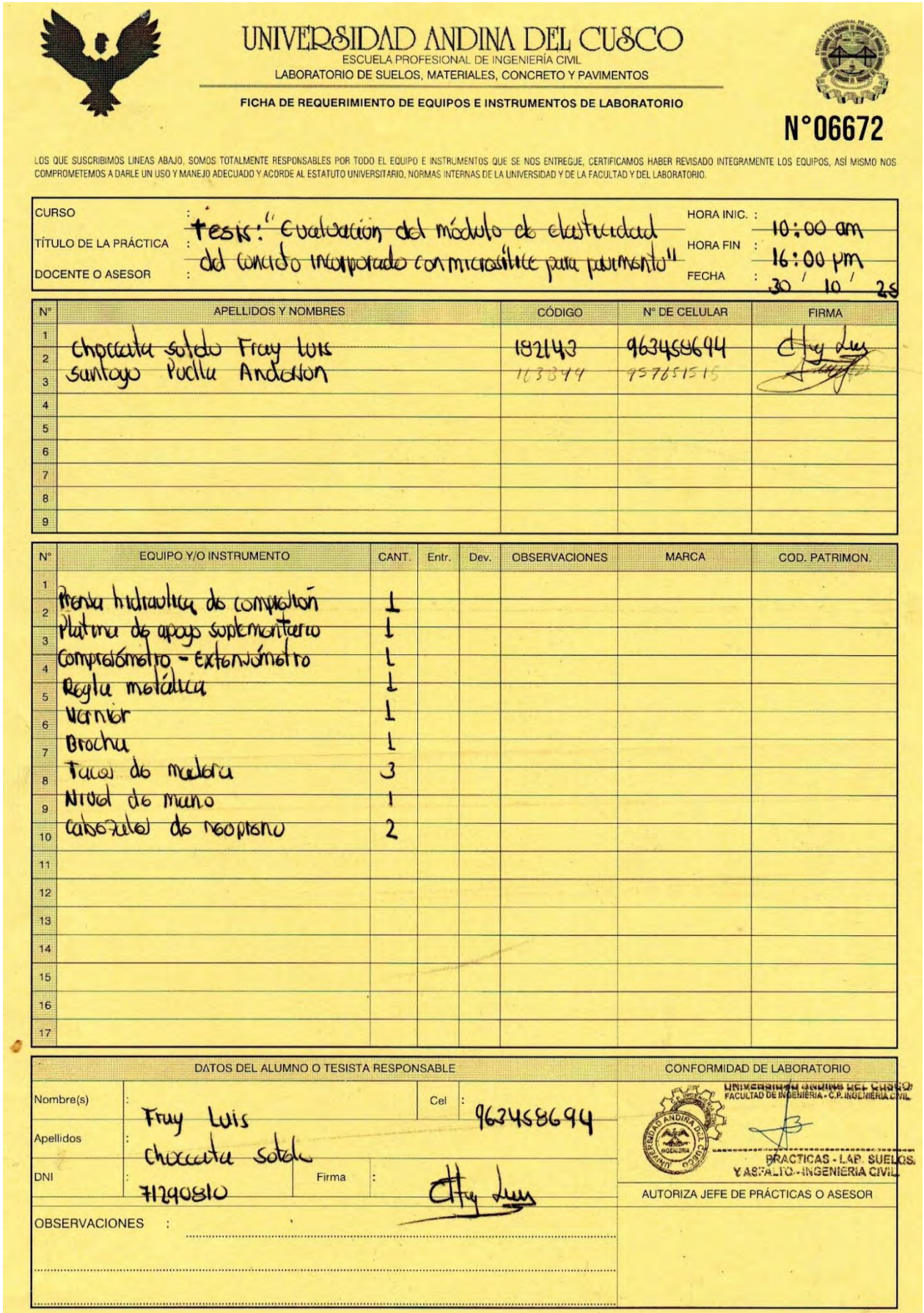
CONFORMIDAD DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA - C.P. INGENIERIA CIVIL

PRACTICAS - LAB. SUELOS Y ASFALTO - INGENIERIA CIVIL

AUTORIZA JEFE DE PRÁCTICAS O ASESOR

Fotografía 66. *Segunda ficha del ensayo del módulo de elasticidad.*



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FICHA DE REQUERIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

N°06672

LOS QUE SUSCRIBIMOS LINEAS ABAJO, SOMOS TOTALMENTE RESPONSABLES POR TODO EL EQUIPO E INSTRUMENTOS QUE SE NOS ENTREGUE, CERTIFICAMOS HABER REVISADO INTEGRAMENTE LOS EQUIPOS, ASÍ MISMO NOS COMPROMETEMOS A DARLE UN USO Y MANEJO ADECUADO Y ACORDE AL ESTATUTO UNIVERSITARIO, NORMAS INTERNAS DE LA UNIVERSIDAD Y DE LA FACULTAD Y DEL LABORATORIO.

CURSO :

TÍTULO DE LA PRÁCTICA : tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con microsílice para pavimento"

DOCENTE O ASESOR :

HORA INIC. : 10:00 am

HORA FIN : 16:00 pm

FECHA : 30 / 10 / 25

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	N° DE CELULAR	FIRMA
1				
2	Chaccata solado Fray Luis	192143	963458694	
3	Suntaya Puclla Anderson	163849	957651515	
4				
5				
6				
7				
8				
9				

N°	EQUIPO Y/O INSTRUMENTO	CANT.	Entr.	Dev.	OBSERVACIONES	MARCA	COD. PATRIMON.
1							
2	Prensa hidraulica de compresión	1					
3	Platina de apoyo suplementario	1					
4	Compresómetro - extensómetro	1					
5	Regla metálica	1					
6	Vernier	1					
7	Brocha	1					
8	Tacos de madera	3					
9	Nivel de mano	1					
10	Cabezales de neoprono	2					
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

DATOS DEL ALUMNO O TESISTA RESPONSABLE

Nombre(s) : Fray Luis

Apellidos : Chaccata solado

DNI : 71290810

Cel : 963458694

Firma :

OBSERVACIONES :

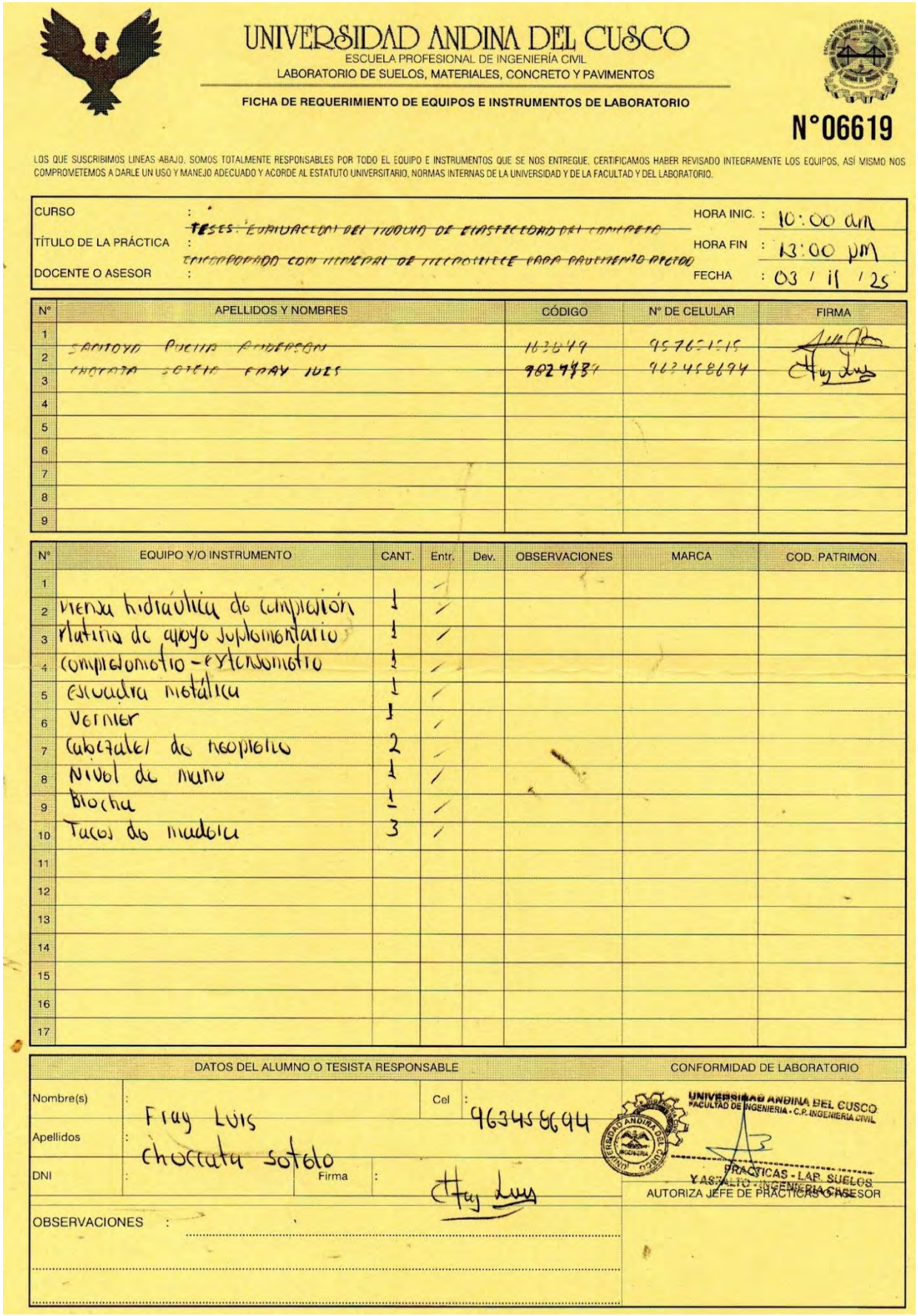
CONFORMIDAD DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA - C.P. INGENIERÍA CIVIL

PRACTICAS - LAB. SUELOS, Y ASFALTO - INGENIERIA CIVIL

AUTORIZA JEFE DE PRÁCTICAS O ASESOR

Fotografía 67. *Tercera ficha del ensayo del módulo de elasticidad.*



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FICHA DE REQUERIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

N°06619

LOS QUE SUSCRIBIMOS LINEAS ABAJO, SOMOS TOTALMENTE RESPONSABLES POR TODO EL EQUIPO E INSTRUMENTOS QUE SE NOS ENTREGUE, CERTIFICAMOS HABER REVISADO INTEGRAMENTE LOS EQUIPOS, ASÍ MISMO NOS COMPROMETEMOS A DARLE UN USO Y MANEJO ADECUADO Y ACORDE AL ESTATUTO UNIVERSITARIO, NORMAS INTERNAS DE LA UNIVERSIDAD Y DE LA FACULTAD Y DEL LABORATORIO.

CURSO :
TÍTULO DE LA PRÁCTICA : ~~TESIS: EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO~~ ~~INCORPORADO CON MINERAL DE TIZOPOLITE PARA PAVIMENTO RIGIDO~~
DOCENTE O ASESOR :
HORA INIC. : 10:00 am
HORA FIN : 13:00 pm
FECHA : 03 / 11 / 25

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	N° DE CELULAR	FIRMA
1				
2	SANTOYO PUELLO ANDERSON	163649	957615115	
3	~~CHOCCATA SOTELO~~ FRAY LUIS	~~982~~ 963458694		
4				
5				
6				
7				
8				
9				

N°	EQUIPO Y/O INSTRUMENTO	CANT.	Entr.	Dev.	OBSERVACIONES	MARCA	COD. PATRIMON.
1							
2	Prensa hidráulica de compresión	1	/				
3	Platina de apoyo suplementario	1	/				
4	Compresómetro - extensómetro	1	/				
5	Escuadra metálica	1	/				
6	Vernier	1	/				
7	Cabezales de neopreno	2	/				
8	Nivel de mano	1	/				
9	Brocha	1	/				
10	Tacos de madera	3	/				
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

DATOS DEL ALUMNO O TESISTA RESPONSABLE

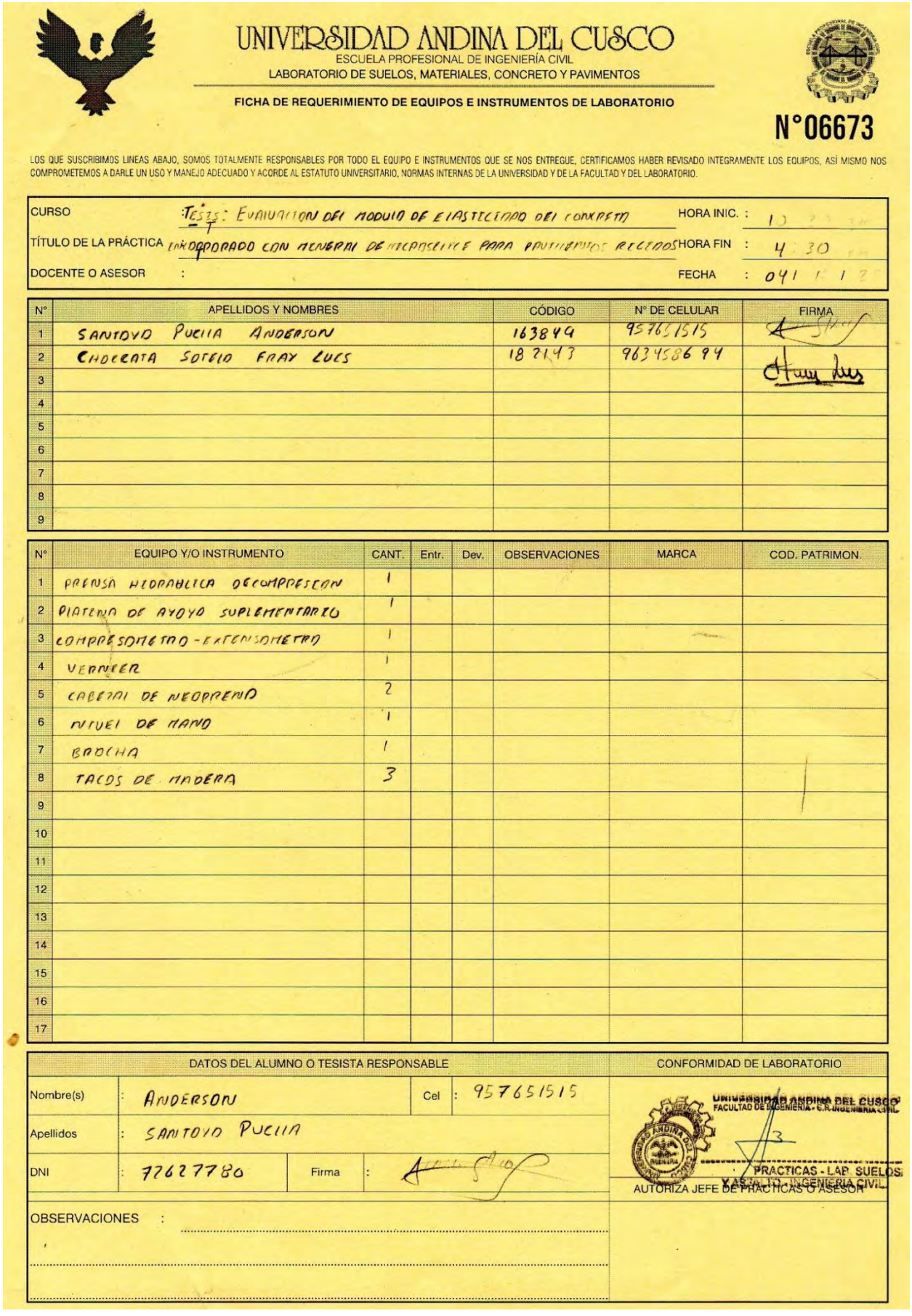
Nombre(s) : Fray Luis
Apellidos : Chocatta sotelo
DNI :
Cel : 963458694
Firma :

OBSERVACIONES :

CONFORMIDAD DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA - C.P. INGENIERIA CIVIL
PRACTICAS - LAB. SUELOS
Y ASFALTO - INGENIERIA CIVIL
AUTORIZA JEFE DE PRACTICAS O ASESOR

Fotografía 68. *Cuarta ficha del ensayo del módulo de elasticidad.*



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FICHA DE REQUERIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

N°06673

LOS QUE SUSCRIBIMOS LINEAS ABAJO, SOMOS TOTALMENTE RESPONSABLES POR TODO EL EQUIPO E INSTRUMENTOS QUE SE NOS ENTREGUE, CERTIFICAMOS HABER REVISADO INTEGRAMENTE LOS EQUIPOS, ASÍ MISMO NOS COMPROMETEMOS A DARLE UN USO Y MANEJO ADECUADO Y ACORDE AL ESTATUTO UNIVERSITARIO, NORMAS INTERNAS DE LA UNIVERSIDAD Y DE LA FACULTAD Y DEL LABORATORIO.

CURSO : TESIS: EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO — HORA INIC. : 1

TÍTULO DE LA PRÁCTICA : INCORPORADO CON ACEROFIBRA DE MICROFIBRA PARA PAVIMENTOS RIGIDOS — HORA FIN : 4:30

DOCENTE O ASESOR : — FECHA : 04/1/17

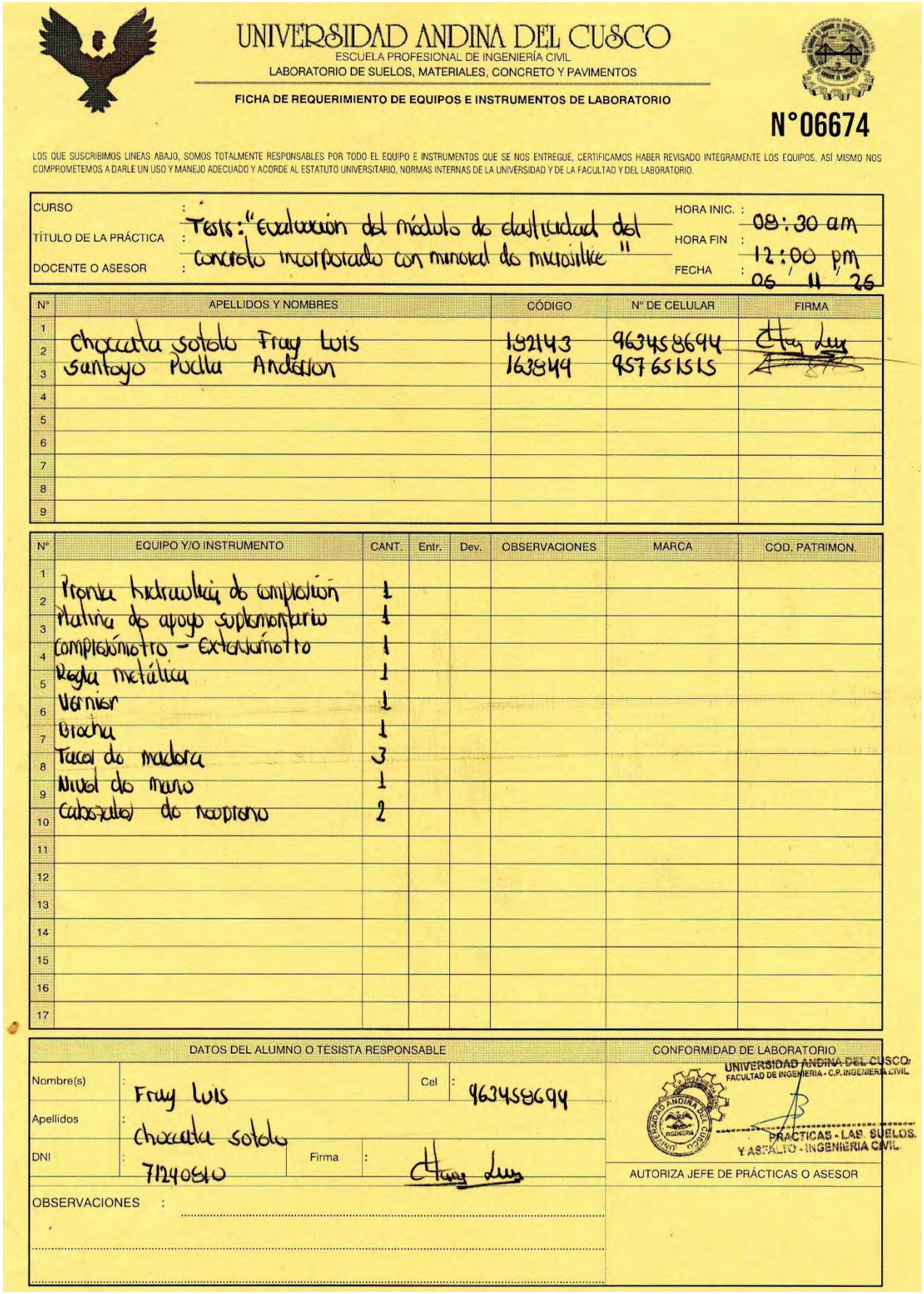
N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	N° DE CELULAR	FIRMA
1	SANTOYO PUCLLA ANDERSON	163849	957651515	
2	CHOCCATA SOTELO FRAY LUCS	182143	963458694	
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				

N°	EQUIPO Y/O INSTRUMENTO	CANT.	Entr.	Dev.	OBSERVACIONES	MARCA	COD. PATRIMON.
1	PRENSA HIDRAULICA DECOMPRESION	1					
2	PLATINA DE APOYO SUPLEMENTARIO	1					
3	COMPRESOMETRO - EXTENSOMETRO	1					
4	VERNIER	1					
5	CABEZAL DE NEOPRENO	2					
6	NIVEL DE MANO	1					
7	BROCHA	1					
8	TACOS DE MADERA	3					
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

DATOS DEL ALUMNO O TESISTA RESPONSABLE				CONFORMIDAD DE LABORATORIO
Nombre(s)	: ANDERSON	Cel	: 957651515	UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO FACULTAD DE INGENIERIA - E.P. INGENIERIA CIVIL
Apellidos	: SANTOYO PUCLLA			
DNI	: 77627780	Firma	:	PRACTICAS - LAB. SUELOS VASQUEZ TTO. INGENIERIA CIVIL
				AUTORIZA JEFE DE PRACTICAS O ASESOR

OBSERVACIONES :

Fotografía 69. *Primera ficha del ensayo del módulo de elasticidad.*



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE SUELOS, MATERIALES, CONCRETO Y PAVIMENTOS

FICHA DE REQUERIMIENTO DE EQUIPOS E INSTRUMENTOS DE LABORATORIO

N°06674

LOS QUE SUSCRIBIMOS LINEAS ABAJO, SOMOS TOTALMENTE RESPONSABLES POR TODO EL EQUIPO E INSTRUMENTOS QUE SE NOS ENTREGUE, CERTIFICAMOS HABER REVISADO INTEGRAMENTE LOS EQUIPOS, ASÍ MISMO NOS COMPROMETEMOS A DARLE UN USO Y MANEJO ADECUADO Y ACORDE AL ESTATUTO UNIVERSITARIO, NORMAS INTERNAS DE LA UNIVERSIDAD Y DE LA FACULTAD Y DEL LABORATORIO.

CURSO :
TÍTULO DE LA PRÁCTICA : Tesis: "Evaluación del módulo de elasticidad del concreto incorporado con minoral de microsilice"
DOCENTE O ASESOR :
HORA INIC. : 08:30 am
HORA FIN : 12:00 pm
FECHA : 06 / 11 / 25

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO	N° DE CELULAR	FIRMA
1				
2	Chaccata Sotelo Fray Luis	192143	963458694	
3	Santoyo Pucha Anderson	163844	957651515	
4				
5				
6				
7				
8				
9				

N°	EQUIPO Y/O INSTRUMENTO	CANT.	Entr.	Dev.	OBSERVACIONES	MARCA	COD. PATRIMON.
1							
2	Prensa hidraulica de compresión	1					
3	Platina de apoyo suplementario	1					
4	Compresómetro - Extensómetro	1					
5	Regla metálica	1					
6	Vernier	1					
7	Brocha	1					
8	Taco de madera	3					
9	Nivel de mano	1					
10	Cabezales de neoprano	2					
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							

DATOS DEL ALUMNO O TESISTA RESPONSABLE

Nombre(s) : Fray Luis
Cel : 963458694
Apellidos : Chaccata Sotelo
DNI : 71240810
Firma :
OBSERVACIONES :

CONFORMIDAD DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA - C.P. INGENIERIA CIVIL
PRACTICAS - LAB. SUELOS Y ASFALTO - INGENIERIA CIVIL

AUTORIZA JEFE DE PRÁCTICAS O ASESOR

Anexo 32. *Certificado de calibración de la maquina universal.*

TEST & CONTROL

SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

ISO 17025:2017

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 05575 - 2022

PROFORMA : 9731A Fecha de emisión: 2022 - 04 - 12 Página : 1 de 3

SOLICITANTE : **UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**
Dirección : Av. De La Cultura 773 Cusco - Cusco

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : **ENSAYO UNIVERSAL (DEFORMACIÓN) (TIPO RELOJ COMPARADOR)**

Tipo	:	Analógico
Marca	:	INSTRON
Modelo	:	600DX-B1-C3A-G1F
N° de Serie	:	600DXR4565
Intervalo de Indicación	:	0 mm a 152 mm
División de Escala	:	0,0001 mm
Procedencia	:	U.S.A.
Identificación	:	No Indica
Fecha de Calibración	:	2022 - 04 - 07
Ubicación	:	LABORATORIO DE MECABNICA DE SUELOS Y MATERIALES

LUGAR DE CALIBRACIÓN
Laboratorio de TEST & CONTROL S.A.C.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
La calibración se realizó por comparación directa tomando como referencia el procedimiento PC - 014 "Procedimiento para la calibración de comparadores utilizando bloques patrón de longitud" Edición 3 - Julio 2019 INACAL

CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	17,5 °C	17,5 °C
Humedad Relativa	46,0 %	45,0 %

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.
El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

PGC-16-r07/ Diciembre 2019/Rev.03

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Bloques Patrón Grado K DM-INACAL	Bloques Patrón de Longitud 0,5 mm a 100 mm Grado 0	LLA-C-013-2021
Comparador Horizontal de Longitud DM-INACAL	Patrón de Espesor ELCOMETER	LLA - 156 - 2021

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Error de referencia inicial = 0,0 µm

Error de Indicación

Valor Patrón (mm)	Indicación del Comparador (mm)	Error (µm)
5,0003	4,9657	-34,6
10,0003	9,9671	-33,2
15,0006	15,9645	963,9
20,0006	19,8501	-150,5
50,0000	49,8529	-147,1
100,0000	99,7600	-240,0

OBSERVACIONES
Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

INCERTIDUMBRE
La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

Jr. Condesa de Lemos N° 117 San Miguel - Lima (01) 2629545 990089889 informes@testcontrol.com.pe
*Empresa con **responsabilidad social**, acercando la ciencia a los que comparten nuestra **pasión por la metrología**.*

Anexo 33. *Certificado de calibración de la máquina de compresión para muestras de concreto.*

TEST & CONTROL

Laboratorio de calibración con sistema de gestión que cumple los requisitos de la ***ISO/IEC 17025:2017***

Certificado de Calibración

TC-22276-2025

Proforma : 08963 Fecha de emisión: 2025-09-08

Solicitante : **FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL - UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO**
Dirección : AV. DE LA CULTURA, NRO. 733, CUSCO – PERÚ

Instrumento de medición	:	**MAQUINA COMPRESORA DE CONCRETO**
Marca	:	ELE INTERNATIONAL
Modelo	:	36-3088/06
N° de Serie	:	1886-1-3514
Intervalo de Indicación	:	0 kN a 2224 kN
Resolución	:	0,1 kN
Identificación	:	NO INDICA
Clase de Exactitud	:	1
Ubicación	:	Laboratorio de mecánica de suelos
Fecha de Calibración	:	2025-09-01

Lugar de calibración
Instalaciones de Laboratorio de Mecanica de Suelos y Materiales - FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.

Método de calibración
Según la norma UNE-EN ISO 7500-1 2018 "Materiales metálicos Calibración y verificación de máquinas de ensayos uniaxiales estáticos. Parte 1: Máquinas de ensayo de tracción/compresión. Calibración y verificación del sistema de medida de fuerza".

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

LABORATORIO DE CALIBRACIÓN G.T.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

Av. Simón Bolivar 1619 Pueblo Libre - Lima 990089889 informes@testcontrol.com.pe

Empresa con ***responsabilidad social,*** *que acerca la ciencia a los que comparten nuestra* ***pasión por la metrología.***

Certificado de Calibración
TC-22276-2025

Trazabilidad

Trazabilidad	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración	Certificado de Calibración
Patrón de Referencia del AEP Transducers	Celda de Carga con Indicador 0 kN a 3 000 kN Clase 1	LAT 093 125325F Abril 2025	

Resultados de medición

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura Ambiental	17,8 °C	18,0 °C

Dirección de carga: Compresión

Indicación de fuerza de máquina de ensayo		Indicación del patrón de medición				Error de medición
		1ra Serie Ascenso	2da Serie Ascenso	3ra Serie Ascenso	Promedio	
(%)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)
0	0,00	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00
7	100	100,4	100,4	100,4	100,4	-0,36
13	200	201,2	201,3	201,3	201,2	-1,25
20	300	300,4	300,5	300,5	300,5	-0,46
30	450	453,6	453,8	453,8	453,7	-3,69
40	600	601,1	601,5	601,5	601,4	-1,36
50	750	751,2	751,8	751,8	751,6	-1,58
67	1000	1003,0	1004,0	1004,0	1003,6	-3,63
80	1200	1202,5	1204,0	1204,0	1203,5	-3,48
90	1350	1351,3	1353,1	1353,1	1352,5	-2,51
100	1500	1501,4	1503,6	1503,6	1502,8	-2,84

Valor nominal		Errores de medición relativos en %			Incertidumbre de medición relativa (k=2)
		Indicación q	Repetibilidad b	Resolución relativa a	
(%)	(kN)	(%)	(%)	(%)	(%)
7	100	-0,86	0,01	0,10	0,40
13	200	-0,47	0,02	0,05	0,40
20	300	-0,39	0,03	0,03	0,40
30	450	-0,55	0,04	0,02	0,40
40	600	-0,74	0,06	0,02	0,40
50	750	-0,69	0,07	0,01	0,40
67	1000	-0,67	0,10	0,01	0,40
80	1200	-0,95	0,12	0,01	0,40
90	1350	-0,85	0,13	0,01	0,40
100	1500	-0,72	0,15	0,01	0,40
Error relativo de cero f_o		0,00			

Av. Simón Bolivar 1619 Pueblo Libre - Lima 990089889 informes@testcontrol.com.pe

Empresa con ***responsabilidad social****, que acerca la ciencia a los que comparten nuestra* ***pasión por la metrología.***

Certificado de Calibración
TC-22276-2025

Clase de la escala de máquina	Valor máximo permitido en % Según ISO 7500-1			
	Indicación q	Repetibilidad b	Resolución relativa a	Cero f_o
	(%)	(%)	(%)	(%)
0,5	± 0,5	0,5	± 0,25	± 0,05
1	± 1	1	± 0,5	± 0,1
2	± 2	2	± 1	± 0,2
3	± 3	3	± 1,5	± 0,3

Incertidumbre
La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

Observaciones
Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

*** FIN DEL DOCUMENTO ***

TEST & CONTROL

Av. Simón Bolivar 1619 Pueblo Libre - Lima 990089889 informes@testcontrol.com.pe

*Empresa con **responsabilidad social**, que acerca la ciencia a los que comparten nuestra **pasión por la metrología**.*

Anexo 34. *Certificado de laboratorio de la Universidad Andina del Cusco.*

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE CONCRETO Y MATERIALES

CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE CONCRETO Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACION.

El que suscribe jefe de laboratorio de concreto y materiales de la escuela profesional de ingeniería civil de la Universidad Andina del Cusco.

Hace constar:

Que los tesistas; conducentes a la obtención del titulo profesional de ingeniero civil; Bach. Anderson Santoyo Puclla y Bach. Fray Luis Choccata Sotelo, hizo uso del laboratorio para la ejecución de la tesis de investigación: "EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSILICE PARA PAVIMENTO RIGIDO, CUSCO – 2024"

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Método de Ensayo Estándar para determinar El Módulo de elasticidad Estático del concreto	ASTM C469	48

Se le expide la siguiente constancia a solicitud escrita por los interesados, con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco 04 de diciembre del 2025

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA Y C.S. INGENIERIA CIVIL
PRACTICAS - LAB. SUELOS, ASFALTO - INGENIERIA CIVIL

Anexo 35. *Certificado de laboratorio suelos de la UNSAAC.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES
Av. De la cultura Nro. 733 – Escuela Profesional de Ingeniería Civil

CERTIFICADO DE USO DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES PARA TESIS DE INVESTIGACIÓN

EL QUE SUSCRIBE JEFE DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL.

HACE CONSTAR:

Que los tesistas, conducentes a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil, Bach. **FRAY LUIS CHOCCATA SOTELO** y Bach. **ANDERSON SANTOYO PUCLLA**, hizo uso del laboratorio para ejecución de la tesis de investigación: **"EVALUACIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPORADO CON MINERAL DE MICROSÍLICE PARA PAVIMENTO RÍGIDO, CUSCO – 2024"**

Los ensayos que realizaron son los siguientes:

Nro.	ENSAYO	NORMA	CANT.
01	Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 µm(N°200) por lavado de agregado	NTP 400.018/ASTM C136	2
02	Análisis granulométrico de agregado fino y grueso	NTP 400.012/ASTM C136	2
03	Contenido de humedad de agregado fino y grueso	NTP 339.185/ASTM C566	6
04	Ensayo normalizado para peso específico y absorción del agrego fino y grueso	NTP 400.022/ASTM C128	12
05	Peso unitario suelto y vacíos en agregado fino y grueso	NTP 400.017/ASTM C29	6
06	Peso unitario varillado y vacíos en agregado fino y grueso	NTP 400.014/ASTM C29	6
07	Ensayo de resistencia a la degradación del agregado grueso de tamaño menores a 37.5mm (1 1/2") por abrasión e impacto de la máquina de los Ángeles	NTP 400.019/ASTM C131	2
08	Ensayo de revenimiento del concreto	NTP 339.035	16
09	Resistencia a compresión de probetas cilíndricas	NTP 339.034/ASTM C39	48
10	Resistencia a flexión de probetas prismáticas	NTP339.078/ASTM C78	48

Se le expide la presente constancia a solicitud escrita por los interesados; con fines académicos para la tesis de investigación.

Cusco, 18 de diciembre del 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
Facultad de Ingeniería Civil
Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales

Ing. Luz Marlene Nieto Palomino
Jefe de Laboratorio

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el **Asesor** Ing. Luz Marlene Nieto Palomino quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: Evaluacion del módulo de elasticidad del concreto incorporado con nimetal de nanosilice para pavimentos rígidos, Cusco - 2024

Presentado por: Fray Luis chaccata sotelo DNI N° 71290810;
presentado por: Anderson santoyo Puclla DNI N°: 72627780
Para optar el título Profesional/Grado Académico de Ingeniero Civil

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 01 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 04 de Setiembre de 2026

Firma

Post firma LUZ MARLENE NIETO PALOMINO

Nro. de DNI 23849232

ORCID del Asesor 0000-0001-6820-2758

Se adjunta: Código OID 27259:620441356

FRAY ANDERSON CHOCCATA SANTOYO

EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPOREDO CON MINERAL DE MICROSILICE PARA PAVI...

Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid:::27259:620441356

Fecha de entrega
4 sep 2026, 11:30 a.m. GMT-5

Fecha de descarga
4 sep 2026, 11:48 a.m. GMT-5

Nombre del archivo
EVALUACION DEL MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO INCORPOREDO CON MINERAL DE M....pdf

Tamaño del archivo
24.5 MB

341 páginas

75.473 palabras

378.712 caracteres

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 30 palabras)

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Caracteres reemplazados
95 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

Texto oculto
3 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Internet
hdl.handle.net <1%

2 Internet
repositorio.unsaac.edu.pe <1%

3 Trabajos entregados
Universidad Continental on 2024-07-02 <1%

4 Internet
repositorio.utea.edu.pe <1%

5 Trabajos entregados
Universidad Andina del Cusco on 2023-03-20 <1%

6 Publicación
Elvio Tintaya Zegarra, Yony Farfan Robles, Antonio Coronel Molina, Rosa Evangeli... <1%

7 Trabajos entregados
Universidad Nacional de Ingenieria on 2025-11-17 <1%