



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO CIVIL**

**MORTERO DE FRAGUADO RÁPIDO, CON CERÁMICOS SANITARIOS
RECICLADOS Y POLÍMERO SUPER-ABSORBENTE**

**AUTORES: GERMAN OLMOS, ESTEFANY ELIZABETH
SOLIS ARMIJO, GABRIELA FERNANDA**

DIRECTOR: ING. BONIFAZ GARCÍA, HUGO FABIÁN MGS.

SANGOLQUÍ, 2019



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo de titulación, ***“MORTERO DE FRAGUADO RÁPIDO, CON CERÁMICOS SANITARIOS RECICLADOS Y POLÍMERO SUPER ABSORBENTE”*** realizado por la Srta. ***ESTEFANY ELIZABETH GERMAN OLMOS*** y la Sra. ***GABRIELA FERNANDA SOLIS ARMIJO***, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 07 de enero del 2019

.....
Ing. Hugo Fabián Bonifaz García, Mgs.

DIRECTOR

C.C: 0601786452



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotras, **ESTEFANY ELIZABETH GERMAN OLMOS**, con cédula de ciudadanía N° 1725873507, y **GABRIELA FERNANDA SOLIS ARMIJO**, con cédula de ciudadanía N° 0603476052, declaramos que este trabajo de titulación **“MORTERO DE FRAGUADO RÁPIDO, CON CERÁMICOS SANITARIOS RECICLADOS Y POLÍMERO SUPER ABSORBENTE”** ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existente, así como también se han respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 07 de enero del 2019

Estefany Elizabeth German Olmos

C.C. 1725873507

Gabriela Fernanda Solis Armijo

C.C. 0603476052



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

ESTEFANY ELIZABETH GERMAN OLMOS

GABRIELA FERNANDA SOLIS ARMIJO

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el presente trabajo de titulación ***“MORTERO DE FRAGUADO RÁPIDO, CON CERÁMICOS SANITARIOS RECICLADOS Y POLÍMERO SUPER ABSORBENTE”*** en la biblioteca virtual de la institución, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 07 de enero del 2019

Estefany Elizabeth German Olmos

C.C. 1725873507

Gabriela Fernanda Solis Armijo

C.C. 0603476052

DEDICATORIA

Principalmente, este trabajo es dedicado a mi padre Rubén porque gracias a su esfuerzo y apoyo incondicional he cumplido los objetivos que me he propuesto, por lo que gran parte de este logro es gracias a él. A mi madre Gricelda, a mis hermanas Silvia, Sandy y Jenifer que siempre han estado apoyando cada proyecto emprendido en mi vida, y ayudando en mi formación personal y profesional, este logro también es de ellos.

Estefany Elizabeth German Olmos

A Dios, por haberme dado la vida para lograr culminar mi carrera universitaria con éxito. A mis padres Irma y Marcelo por su amor y apoyo incondicional, sus enseñanzas, mensajes de aliento que desde niña me han brindado, alentándome siempre para cumplir con mis metas; muchos de mis logros se los debo a ustedes, este es uno de ellos.

A mi esposo Javier por su inmenso amor, comprensión y perseverancia, permitiéndome encontrar la fortaleza para seguir adelante a pesar de las adversidades presentes en este largo camino; me siento muy afortunada de tenerte a mi lado y seguir luchando juntos para alcanzar muchos más éxitos. A mis hijas Emma y Emilia por ser mi motivación e inspiración para nunca rendirme y llegar a ser su ejemplo de superación. Este triunfo no es solo mío es de ustedes también, los amo.

Gabriela Fernanda Solis Armijo

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios por darnos fuerza y sabiduría para culminar con éxito cada propósito planteado hasta el momento.

A nuestros padres por el esfuerzo que han realizado apoyándonos para alcanzar nuestras metas.

A la Universidad de las Fuerza Armadas ESPE, por acogernos como miembros de su comunidad universitaria, con la finalidad de formar profesionales de excelencia.

Al Ing. Hugo Bonifaz, director del proyecto, por los conocimientos impartidos y por su predisposición para dirigir y guiar el desarrollo de esta investigación. Al Ing. Juan Haro por su colaboración y ayuda permanente en los trabajos realizados en el laboratorio. A la Ing. Martha Pazmiño por el tiempo que nos ha prestado y ayudado revisando este proyecto.

Al Ing. Luis Cumbal Ph.D, al Ing. Alexis Debut Ph.D y a la Ing. Karla Vizuite por darnos la oportunidad de realizar estudios que contribuyen al desarrollo de este proyecto.

Al Dr. Vicente Delgado por su colaboración en el análisis de los ensayos realizados en el Laboratorio de Caracterización de Nano materiales. Al Ing. Francisco Navas por la ayuda prestada al realizar los ensayos en el laboratorio de mecánica de materiales.

Estefany Elizabeth German Olmos

Gabriela Fernanda Solis Armijo

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|-------|
| CERTIFICACIÓN..... | i |
| DEDICATORIA | ii |
| AUTORIZACIÓN..... | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| ÍNDICE DE CONTENIDO | vi |
| ÍNDICE DE TABLAS..... | xiii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xix |
| RESUMEN..... | xxiii |
| ABSTRACT | xxiv |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| GENERALIDADES | 1 |
| 1.1. Introducción | 1 |
| 1.2. Estado del arte del mortero | 4 |
| 1.3. Estado del arte de la cerámica..... | 5 |
| 1.4. Definición del problema | 7 |
| 1.4.1. Macro | 8 |
| 1.4.2. Meso | 8 |
| 1.4.3. Micro..... | 9 |
| 1.5. Área de influencia | 10 |
| 1.5.1. Área de Intervención | 10 |
| 1.5.2. Área de influencia directa | 10 |
| 1.5.3. Área de influencia indirecta..... | 10 |
| 1.6. Justificación e Importancia..... | 10 |
| 1.7. Objetivos..... | 11 |
| 1.7.1. Objetivo general..... | 11 |
| 1.7.2. Objetivos específicos..... | 11 |
| 1.8. Metas | 12 |

| | | |
|--|--|-----------|
| 1.9. | Hipótesis..... | 12 |
| 1.10. | Metodología de desarrollo del proyecto..... | 12 |
| CAPÍTULO II..... | | 14 |
| MARCO TEÓRICO | | 14 |
| 2.1. | Descripción General | 14 |
| 2.1.1. | Clasificación según su composición..... | 15 |
| 2.1.2. | Especificaciones por dosificación | 16 |
| 2.1.3. | Especificaciones por propiedades..... | 16 |
| 2.2. | Propiedades del Mortero..... | 19 |
| 2.2.1. | Propiedades de Mortero en estado fresco..... | 19 |
| 2.2.1.1. | Trabajabilidad o manejabilidad..... | 20 |
| 2.2.1.2. | Consistencia..... | 21 |
| 2.2.1.3. | Fluidez..... | 23 |
| 2.2.1.4. | Estanqueidad..... | 24 |
| 2.2.1.5. | Retención de agua..... | 25 |
| 2.2.2. | Propiedades de Morteros endurecidos..... | 26 |
| 2.2.2.1. | Adherencia..... | 26 |
| 2.2.2.2. | Resistencia a la compresión | 28 |
| 2.2.2.3. | Durabilidad | 29 |
| 2.3. | Composición del mortero | 30 |
| 2.3.1. | Residuos cerámicos reciclados..... | 30 |
| 2.3.2. | Cemento | 31 |
| 2.3.3. | Agua | 32 |
| 2.3.3.1. | Agua de amasado y agua de curado | 33 |
| 2.3.3.2. | Calidad del Agua..... | 33 |
| 2.3.4. | Aditivo..... | 34 |
| 2.3.4.1. | Acelerante | 34 |
| 2.3.4.2. | Super- absorbentes | 34 |
| CAPÍTULO III | | 36 |
| CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES | | 36 |

| | | |
|-----------------|---|----|
| 3.1. | Cerámica sanitaria reciclada | 36 |
| 3.1.1. | Principales materias primas de la cerámica sanitaria | 37 |
| 3.1.1.1. | Caolín | 37 |
| 3.1.1.2. | Feldespatos | 37 |
| 3.1.1.3. | Cuarzo | 39 |
| 3.1.1.4. | Esteatitas | 39 |
| 3.1.2. | Caracterización de la cerámica sanitaria reciclada | 39 |
| 3.1.3. | Cerámica sanitaria triturada | 40 |
| 3.1.4. | Muestreo. NTE INEN 695 | 41 |
| 3.1.5. | Reducción de la muestra por cuarteo NTE INEN 2 566 | 42 |
| 3.1.6. | Granulometría de áridos NTE INEN 2 536, NTE INEN 696 | 43 |
| 3.1.6.1. | Equipo | 43 |
| 3.1.6.2. | Materiales | 44 |
| 3.1.6.3. | Procedimiento | 45 |
| 3.1.6.4. | Granulometría de residuos de cerámica sanitaria triturada para mortero | 46 |
| 3.1.7. | Determinación de la densidad y absorción para agregados finos NTE INEN 856 | 53 |
| 3.1.7.1. | Equipo | 54 |
| 3.1.7.2. | Materiales | 54 |
| 3.1.7.3. | Procedimiento | 54 |
| 3.1.7.4. | Resultados | 56 |
| 3.1.8. | Determinación de humedad de áridos para hormigón NTE INEN 862 | 56 |
| 3.1.8.1. | Equipo | 57 |
| 3.1.8.2. | Materiales | 58 |
| 3.1.8.3. | Procedimiento | 58 |
| 3.1.8.4. | Cálculo | 58 |
| 3.1.8.5. | Resultados | 59 |
| 3.1.9. | Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) NTE INEN 858 | 60 |
| 3.1.9.1. | Equipo | 60 |
| 3.1.9.2. | Procedimiento | 61 |

| | | |
|---|---|-----------|
| 3.1.9.3. | Resultados..... | 62 |
| 3.1.10. | Composición química (EDS)..... | 63 |
| 3.1.11. | Difracción de rayos X (XRD)..... | 65 |
| 3.2. | Cemento..... | 66 |
| 3.2.1. | Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat según NTE INEN 157 | 66 |
| 3.2.1.1. | Equipo..... | 66 |
| 3.2.1.2. | Procedimiento | 67 |
| 3.2.1.3. | Cálculos..... | 68 |
| 3.2.1.4. | Resultados..... | 68 |
| 3.2.2. | Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat NTE INEN 158 | 69 |
| 3.2.2.1. | Equipo..... | 69 |
| 3.2.2.2. | Procedimiento | 70 |
| 3.2.2.3. | Cálculo | 70 |
| 3.2.2.4. | Resultados..... | 72 |
| 3.3. | Silica gel..... | 75 |
| 3.3.1. | Proceso de triturado | 75 |
| 3.3.2. | Composición química (EDS)..... | 77 |
| 3.3.3. | Difracción de rayos X (XRD)..... | 78 |
| 3.3.4. | Microscopía electrónica de barrido (SEM) | 79 |
| 3.3.4.1. | Registro de micrografías de silica gel con una magnificación de 1.00 kx..... | 79 |
| CAPÍTULO IV | | 83 |
| DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE MORTEROS CON Y SIN GEL DE SÍLICE... 83 | | |
| 4.1. | Dosificación, elaboración y determinación de las propiedades de morteros realizados con 0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de gel de sílice en relación al cemento | 83 |
| 4.1.1. | Selección de la fluidez..... | 83 |
| 4.1.2. | Determinación de la resistencia de dosificación..... | 84 |
| 4.1.3. | Selección de la relación agua/cemento | 85 |
| 4.1.4. | Estimación del contenido de cemento | 86 |
| 4.1.5. | Cálculo de la cantidad de agua | 88 |

| | | |
|-------------------------|---|-----------|
| 4.1.6. | Cálculo del contenido de agregado..... | 88 |
| 4.1.7. | Cálculo de las porciones iniciales | 90 |
| 4.1.8. | Resumen de la dosificación | 92 |
| 4.1.9. | Proporciones iniciales..... | 93 |
| 4.2. | Proceso de elaboración del mortero | 93 |
| 4.2.1. | Elaboración de especímenes..... | 93 |
| 4.2.1.1. | Equipo..... | 93 |
| 4.2.1.2. | Procedimiento | 94 |
| 4.2.2. | Curado | 96 |
| CAPÍTULO V | | 97 |
| RESULTADOS..... | | 97 |
| 5.1. | Determinación de la resistencia a la compresión..... | 97 |
| 5.1.1. | Equipo..... | 97 |
| 5.1.2. | Material | 98 |
| 5.1.3. | Procedimiento | 98 |
| 5.1.4. | Cálculos..... | 98 |
| 5.1.5. | Resultados del ensayo de resistencia a la compresión | 99 |
| 5.1.5.1. | Resistencia a la compresión de probetas con 0% Silica gel | 99 |
| 5.1.5.2. | Resistencia a la compresión de probetas con 0.5% Silica gel | 101 |
| 5.1.5.3. | Resistencia a la compresión de probetas con 1% Silica gel | 103 |
| 5.1.5.4. | Resistencia a la compresión de probetas con 2% Silica gel | 106 |
| 5.1.5.5. | Resistencia a la compresión de probetas con 3% Silica gel | 109 |
| 5.1.5.6. | Resistencia a la compresión de probetas con 4% Silica gel | 112 |
| 5.1.5.7. | Resistencia a la compresión de probetas con 5% Silica gel | 115 |
| 5.2. | Determinación de la resistencia a la flexión | 121 |
| 5.2.1. | Equipo..... | 121 |
| 5.2.2. | Material | 121 |
| 5.2.3. | Procedimiento | 122 |
| 5.2.4. | Cálculo | 122 |
| 5.2.5. | Resultados del ensayo de resistencia a flexión | 124 |

| | | |
|-----------------|---|------------|
| 5.2.5.1. | Resistencia a flexión en probetas con 0% Silica gel..... | 124 |
| 5.2.5.2. | Resistencia a flexión en probetas con 0.5 % Silica gel..... | 126 |
| 5.2.5.3. | Resistencia a flexión en probetas con 1 % Silica gel..... | 128 |
| 5.2.5.4. | Resistencia a flexión en probetas con 2 % Silica gel..... | 130 |
| 5.2.5.5. | Resistencia a flexión en probetas con 3 % Silica gel..... | 132 |
| 5.2.5.6. | Resistencia a flexión en probetas con 4 % Silica gel..... | 134 |
| 5.2.5.7. | Resistencia a flexión en probetas con 5 % Silica gel..... | 136 |
| 5.3. | Ensayos a compresión de morteros con partículas de diferentes tamaños..... | 143 |
| 5.3.1. | Ensayo a compresión de mortero con 0.5 % Silica gel retenido en el Tamiz N° 270 | 143 |
| 5.3.2. | Ensayo a compresión de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325 | 147 |
| 5.3.3. | Ensayo a compresión de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400 | 151 |
| 5.3.4. | Ensayo a compresión de mortero con 0.5 % Silica gel pasante del Tamiz N°400..... | 155 |
| 5.3.5. | Ensayo a compresión de mortero de marca comercial..... | 159 |
| 5.4. | Ensayos a flexión de morteros con partículas de diferentes tamaños..... | 167 |
| 5.4.1. | Resistencia a la flexión en morteros con 0.5 % Silica gel retenido en el Tamiz N° 270..... | 167 |
| 5.4.2. | Resistencia a la flexión en morteros con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325..... | 171 |
| 5.4.3. | Resistencia a la flexión en morteros con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400..... | 175 |
| 5.4.4. | Resistencia a la flexión en morteros con 0.5 % Silica gel pasante del Tamiz N°400..... | 179 |
| 5.4.5. | Resistencia a la flexión en morteros de marca comercial | 182 |
| 5.5. | Composición química (EDS)..... | 188 |
| 5.5.1. | Composición química de mortero con 0% Silica gel..... | 189 |
| 5.5.2. | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N°200..... | 190 |
| 5.5.3. | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N°270..... | 191 |

| | | |
|---------------|---|------------|
| 5.5.4. | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N°325..... | 192 |
| 5.5.5. | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N°400..... | 193 |
| 5.5.6. | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N°400..... | 194 |
| 5.5.7. | Composición química de mortero de marca comercial..... | 195 |
| 5.6. | Micrografía Electrónica de Barrido (SEM) de los morteros ensayados..... | 198 |
| | CAPÍTULO VI | 212 |
| 6.1. | CONCLUSIONES | 212 |
| 6.2. | RECOMENDACIONES | 215 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 <i>Composición Química</i> | 3 |
| Tabla 2 <i>Especificaciones por dosificación. Requisitos</i> | 16 |
| Tabla 3 <i>Especificaciones por propiedades. Requisitos</i> | 17 |
| Tabla 4 <i>Tipo de consistencia</i> | 21 |
| Tabla 5 <i>Fluidez recomendada para morteros</i> | 24 |
| Tabla 6 <i>Materias primas de la industria cerámica</i> | 36 |
| Tabla 7 <i>Composiciones químicas de los feldespatos</i> | 38 |
| Tabla 8 <i>Resumen de normas a utilizar</i> | 41 |
| Tabla 9 <i>Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería</i> | 44 |
| Tabla 10 <i>Ensayo Granulométrico de la muestra 1</i> | 48 |
| Tabla 11 <i>Ensayo granulométrico de la muestra 2</i> | 50 |
| Tabla 12 <i>Ensayo granulométrico de la muestra 3</i> | 52 |
| Tabla 13 <i>Parámetros para clasificar la muestra de cerámica</i> | 53 |
| Tabla 14 <i>Densidad y absorción del agregado fino (cerámica sanitaria triturada) según NTE INEN 856</i> | 56 |
| Tabla 15 <i>Porcentaje de humedad del árido</i> | 59 |
| Tabla 16 <i>Capacidad de los moldes</i> | 61 |
| Tabla 17 <i>Peso volumétrico suelto y varillado de la cerámica sanitaria reciclada</i> | 62 |
| Tabla 18 <i>Análisis EDX de la muestra de cerámica sanitaria reciclada en promedio del porcentaje en peso (wt. %)</i> | 64 |
| Tabla 19 <i>Cantidad de agua para consistencia</i> | 68 |
| Tabla 20 <i>Resultados del tiempo de fraguado inicial y final</i> | 72 |
| Tabla 21 <i>Resumen del tiempo de fraguado inicial</i> | 73 |
| Tabla 22 <i>Resumen tiempo de fraguado final</i> | 74 |
| Tabla 23 <i>Análisis EDX de la muestra de silica gel en promedio del porcentaje en peso (wt. %)</i> | 77 |
| Tabla 24 <i>Tamaños promedio de las partículas de silica gel</i> | 82 |
| Tabla 25 <i>Resultados de las medidas de flujo</i> | 84 |
| Tabla 26 <i>Contenido de cemento con un módulo de finura de 2.1</i> | 87 |
| Tabla 27 <i>Determinación de la resistencia mínima</i> | 92 |

| | | |
|-----------------|---|-----|
| Tabla 28 | <i>Determinación de la cantidad de material (kg/m³)</i> | 92 |
| Tabla 29 | <i>Volumen del molde</i> | 93 |
| Tabla 30 | <i>Dosificación para el mortero sin aditivo</i> | 93 |
| Tabla 31 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 0% de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días</i> | 99 |
| Tabla 32 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% Silica gel</i> | 100 |
| Tabla 33 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 0.5 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días</i> | 101 |
| Tabla 34 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5 % Silica gel</i> | 102 |
| Tabla 35 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 1 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días</i> | 103 |
| Tabla 36 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 1 % Silica gel</i> | 104 |
| Tabla 37 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 2 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días</i> | 106 |
| Tabla 38 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 2 % Silica gel</i> | 107 |
| Tabla 39 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 3 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días</i> | 109 |
| Tabla 40 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 3% Silica gel</i> | 110 |
| Tabla 41 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 4 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días</i> | 112 |
| Tabla 42 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 4% Silica gel</i> | 113 |
| Tabla 43 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 0% de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días</i> | 115 |
| Tabla 44 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 5% Silica gel</i> | 116 |
| Tabla 45 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel</i> | 117 |
| Tabla 46 | <i>Resistencias promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel a los 28 días</i> | 119 |
| Tabla 47 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel</i> | 120 |
| Tabla 48 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 0% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días</i> | 124 |
| Tabla 49 | <i>Resumen del módulo de rotura promedio de mortero con 0% Silica gel</i> | 125 |
| Tabla 50 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 0.5% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días</i> | 126 |
| Tabla 51 | <i>Resumen del módulo de rotura promedio de morteros con 0.5% Silica gel</i> | 127 |
| Tabla 52 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 1% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días</i> | 128 |
| Tabla 53 | <i>Resumen del módulo de rotura promedio de mortero con 1 % Silica</i> | 129 |
| Tabla 54 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 2% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días</i> | 130 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| Tabla 55 | <i>Resumen del módulo de rotura promedio de mortero con 2 % Silica gel</i> | 131 |
| Tabla 56 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 3% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días</i> | 132 |
| Tabla 57 | <i>Resumen de módulo de rotura promedio de mortero con 3 % Silica</i> | 133 |
| Tabla 58 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 4% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días</i> | 134 |
| Tabla 59 | <i>Resumen de módulo de rotura promedio de mortero con 4 % Silica</i> | 135 |
| Tabla 60 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 5% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días</i> | 136 |
| Tabla 61 | <i>Resumen de módulo de rotura promedio de mortero con 5 % Silica</i> | 137 |
| Tabla 62 | <i>Diferencia porcentual del módulo de rotura.....</i> | 138 |
| Tabla 63 | <i>Resumen del módulo de rotura promedio de morteros con 0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de silica gel.....</i> | 138 |
| Tabla 64 | <i>Módulo de rotura promedio de morteros a los 28 días.....</i> | 140 |
| Tabla 65 | <i>Resumen de módulo de rotura promedio de morteros a los 28 días.....</i> | 141 |
| Tabla 66 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 143 |
| Tabla 67 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 3 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 143 |
| Tabla 68 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 7 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 143 |
| Tabla 69 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 14 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 144 |
| Tabla 70 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 21 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 144 |
| Tabla 71 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 28 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 144 |
| Tabla 72 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% Silica gel y Tamaño de la partícula retenida en el Tamiz N° 270</i> | 145 |
| Tabla 73 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 147 |
| Tabla 74 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 3 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 147 |
| Tabla 75 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 7 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 147 |
| Tabla 76 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 14 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 148 |
| Tabla 77 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 21 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 148 |
| Tabla 78 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 28 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 148 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Tabla 79 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% Silica gel y Tamaño de la partícula retenida en el Tamiz N° 32</i> | 149 |
| Tabla 80 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 151 |
| Tabla 81 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 3 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 151 |
| Tabla 82 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 7 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 151 |
| Tabla 83 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 14 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 152 |
| Tabla 84 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 21 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 152 |
| Tabla 85 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 28 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 152 |
| Tabla 86 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% Silica gel y Tamaño de la partícula retenida en el Tamiz N° 400</i> | 153 |
| Tabla 87 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400.....</i> | 155 |
| Tabla 88 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 3 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400.....</i> | 155 |
| Tabla 89 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 7 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400.....</i> | 155 |
| Tabla 90 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 14 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400.....</i> | 156 |
| Tabla 91 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 21 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400.....</i> | 156 |
| Tabla 92 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 28 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400.....</i> | 156 |
| Tabla 93 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% Silica gel y Tamaño de la partícula pasantes del Tamiz N° 400.....</i> | 157 |
| Tabla 94 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 1 día</i> | 159 |
| Tabla 95 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 3 días</i> | 159 |
| Tabla 96 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 7 días</i> | 159 |
| Tabla 97 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 14 días</i> | 160 |
| Tabla 98 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 21 días</i> | 160 |
| Tabla 99 | <i>Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 28 días</i> | 160 |
| Tabla 100 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros marca comercial</i> | 161 |
| Tabla 101 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial</i> | 162 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| Tabla 102 | <i>Resistencia promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial a los 28 días</i> | 164 |
| Tabla 103 | <i>Resumen de la resistencia promedio de morteros con: 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, mortero con 0% sílice y mortero marca comercial a los 28 días</i> | 165 |
| Tabla 104 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 167 |
| Tabla 105 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 3 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 167 |
| Tabla 106 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 7 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 168 |
| Tabla 107 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 28 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270</i> | 168 |
| Tabla 108 | <i>Resumen de módulo de rotura de morteros con 0.5% Silica gel retenida en el Tamiz N° 270</i> | 169 |
| Tabla 109 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 171 |
| Tabla 110 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 3 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 171 |
| Tabla 111 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 7 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 172 |
| Tabla 112 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 28 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325</i> | 172 |
| Tabla 113 | <i>Resumen de módulo de rotura de morteros con 0.5% Silica gel retenida en el Tamiz N° 325</i> | 173 |
| Tabla 114 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 175 |
| Tabla 115 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 3 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 175 |
| Tabla 116 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 7 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 176 |
| Tabla 117 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 28 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400</i> | 176 |
| Tabla 118 | <i>Resumen de módulo de rotura de mortero con 0.5% Silica gel retenida en el Tamiz N° 400</i> | 177 |
| Tabla 119 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 1 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400</i> | 179 |
| Tabla 120 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 3 días con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400</i> | 179 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Tabla 121 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 7 días con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400</i> | 180 |
| Tabla 122 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 28 días con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400</i> | 180 |
| Tabla 123 | <i>Resumen de módulo de rotura de mortero con 0.5% Silica pasante del Tamiz N° 400</i> | 181 |
| Tabla 124 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de marca comercial de 1 día</i> | 182 |
| Tabla 125 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de marca comercial de 3 días</i> | 182 |
| Tabla 126 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de marca comercial de 7 días</i> | 183 |
| Tabla 127 | <i>Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de marca comercial de 28 días</i> | 183 |
| Tabla 128 | <i>Resumen del módulo de rotura promedio de morteros de marca comercial</i> | 184 |
| Tabla 129 | <i>Resumen de módulo de rotura promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial</i> | 185 |
| Tabla 130 | <i>Módulo de rotura promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial a los 28 días</i> | 186 |
| Tabla 131 | <i>Resumen del módulo de rotura promedio de morteros con: 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, mortero con 0% sílice y mortero marca comercial a los 28 días</i> | 187 |
| Tabla 132 | <i>Cuantificación de elementos de mortero con 0% Silica gel</i> | 189 |
| Tabla 133 | <i>Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 200</i> | 190 |
| Tabla 134 | <i>Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 270</i> | 191 |
| Tabla 135 | <i>Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 325</i> | 192 |
| Tabla 136 | <i>Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel retenido en Tamiz N° 400</i> | 193 |
| Tabla 137 | <i>Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 400</i> | 194 |
| Tabla 138 | <i>Cuantificación de elementos de mortero marca comercial</i> | 195 |
| Tabla 139 | <i>Tabla resumen de los elementos en morteros ensayados</i> | 198 |
| Tabla 140 | <i>Nomenclatura para micrografías</i> | 199 |
| Tabla 141 | <i>Costo del mortero elaborado con cerámica sanitaria reciclada sin silica gel</i> | 209 |
| Tabla 142 | <i>Costo de mortero elaborado con cerámica sanitaria reciclada con sílice gel</i> | 209 |
| Tabla 143 | <i>Costo de mortero de marca comercial</i> | 210 |
| Tabla 144 | <i>Costo de mortero con árido de cantera o mina</i> | 211 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 Probeta antes y después del procedimiento de ensayo de consistencia | 21 |
| Figura 2 Consistencia del mortero | 22 |
| Figura 3 Mesa de flujo | 23 |
| Figura 4 Montaje para el ensayo de adherencia por flexión | 27 |
| Figura 5 Máquina de compresión..... | 29 |
| Figura 6 Esquema general del proceso de producción de cerámica sanitaria | 31 |
| Figura 7 Frasco de Silica gel | 35 |
| Figura 8 Piezas con defectos | 40 |
| Figura 9 Muestreo cerámica sanitaria triturada..... | 41 |
| Figura 10 Cuarteo de la muestra de cerámica sanitaria triturada | 43 |
| Figura 11 Tamizadora eléctrica y tamices | 44 |
| Figura 12 Muestra de material para granulometría | 45 |
| Figura 13 Tipos diferentes de curvas granulométricas | 47 |
| Figura 14 Curva granulométrica de la muestra 1 | 49 |
| Figura 15 Curva granulométrica de la muestra 2 | 51 |
| Figura 16 Curva granulométrica de la muestra 3 | 53 |
| Figura 17 Picnómetro vacío y con agua | 55 |
| Figura 18 Bomba de vacío y picnómetro con cerámica y agua | 55 |
| Figura 19 Horno | 57 |
| Figura 20 Balanza electrónica digital..... | 57 |
| Figura 21 Muestra de árido húmedo | 58 |
| Figura 22 Muestra seca | 60 |
| Figura 23 Balde metálico, enrasado, varilla punta redonda | 61 |
| Figura 24 Peso suelto de la muestra y varillado..... | 63 |
| Figura 25 Enrazado y peso de la muestra varillado | 63 |
| Figura 26 Análisis EDS de la muestra de cerámica sanitaria reciclada | 64 |
| Figura 27 Equipo para ensayo XRD | 65 |
| Figura 28 Patrón de difracción de rayos x de la cerámica sanitaria reciclada | 66 |
| Figura 29 Aparato Vicat para el ensayo de consistencia normal del cemento..... | 66 |
| Figura 30 Moldeo de espécimen | 69 |
| Figura 31 Consistencia muestra 1 y 2 | 69 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figura 32 | Ensayo para determinar el tiempo de fraguado. Método Vicat (Vicatronix) | 71 |
| Figura 33 | Muestras ensayadas para determinar el tiempo de fraguado | 71 |
| Figura 34 | Diagrama del tiempo de fraguado inicial con los respectivos porcentajes de Silica gel | 74 |
| Figura 35 | Trituración de Silica gel de tamaño comercial | 76 |
| Figura 36 | Proceso de triturado de Silica gel | 76 |
| Figura 37 | Silica gel triturada y en estado comercial | 76 |
| Figura 38 | Análisis EDS de la muestra de silica gel | 77 |
| Figura 39 | Patrón de difracción de rayos x de Silica gel..... | 78 |
| Figura 40 | Equipo para ensayo SEM..... | 79 |
| Figura 41 | Micrografías de la muestra 1 de Silica gel a 1.0 kx (SEM) y tamaño de las partículas en nm (ImageJ) | 80 |
| Figura 42 | Micrografías de la muestra 2 de Silica gel a 1.0 kx (SEM) y tamaño de las partículas en nm (ImageJ) | 80 |
| Figura 43 | Micrografías de la muestra 3 de Silica gel a 1.0 kx (SEM) y tamaño de las partículas en nm (ImageJ) | 81 |
| Figura 44 | Micrografías de la muestra 4 de Silica gel a 1.0 kx (SEM) y tamaño de las partículas en nm (ImageJ) | 81 |
| Figura 45 | Resistencia a la compresión del mortero Vs. A/C | 86 |
| Figura 46 | Contenido de cemento de acuerdo al módulo de finura de 2.1 | 87 |
| Figura 47 | Máquina mezcladora y moldes | 94 |
| Figura 48 | Apisonado de especímenes | 95 |
| Figura 49 | Curado de muestras..... | 96 |
| Figura 50 | Máquina de ensayo de resistencia a la compresión | 97 |
| Figura 51 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0% Silica gel..... | 100 |
| Figura 52 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5 % Silica gel..... | 102 |
| Figura 53 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 1 % Silica gel..... | 105 |
| Figura 54 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 2 % Silica gel..... | 108 |
| Figura 55 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 3 % Silica gel..... | 111 |
| Figura 56 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 4 % Silica gel..... | 114 |
| Figura 57 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 5 % Silica gel..... | 117 |
| Figura 58 | Diagrama resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel..... | 118 |
| Figura 59 | Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel a los 28 días..... | 121 |
| Figura 60 | Muestras de mortero en moldes y ensayo a flexión..... | 123 |
| Figura 61 | Probetas después del ensayo a flexión..... | 123 |
| Figura 62 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0 % Silica gel | 125 |
| Figura 63 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 0.5 % Silica gel ... | 127 |
| Figura 64 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 1 % Silica gel | 129 |
| Figura 65 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 2 % Silica gel | 131 |

| | | |
|------------------|---|-----|
| Figura 66 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 3 % Silica gel | 133 |
| Figura 67 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 4 % Silica gel | 135 |
| Figura 68 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 5 % Silica gel | 137 |
| Figura 69 | Gráfica comparativa del módulo de rotura promedio con diferentes porcentajes de sílice..... | 139 |
| Figura 70 | Comparación del módulo de rotura a los 28 días | 142 |
| Figura 71 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 270 | 146 |
| Figura 72 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325 | 150 |
| Figura 73 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400 | 154 |
| Figura 74 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 400..... | 158 |
| Figura 75 | Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero marca comercial | 162 |
| Figura 76 | Diagrama de la resistencia promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial..... | 163 |
| Figura 77 | Diagrama resumen de la resistencia promedio de morteros con: 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, mortero con 0% sílice y mortero marca comercial a los 28 días | 166 |
| Figura 78 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 270..... | 170 |
| Figura 79 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325..... | 174 |
| Figura 80 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400..... | 178 |
| Figura 81 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 400 | 181 |
| Figura 82 | Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero de marca comercial..... | 184 |
| Figura 83 | Diagrama de módulo de rotura promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial | 185 |
| Figura 84 | Diagrama resumen de módulo de rotura promedio de morteros con: 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, mortero con 0% sílice y mortero marca comercial a los 28 días..... | 188 |
| Figura 85 | Muestras de morteros triturados para ensayo EDS..... | 188 |
| Figura 86 | Composición química de mortero con 0% Silica gel..... | 190 |
| Figura 87 | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 200 | 191 |
| Figura 88 | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 270 | 192 |
| Figura 89 | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325 | 193 |

| | | |
|-------------------|--|-----|
| Figura 90 | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400 | 194 |
| Figura 91 | Composición química de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 400 | 195 |
| Figura 92 | Composición química de mortero marca comercial | 196 |
| Figura 93 | Composición química de morteros ensayados | 196 |
| Figura 94 | Muestras colocadas en stub | 198 |
| Figura 95 | Micrografías de la muestra de mortero comercial a diferentes magnificaciones | 201 |
| Figura 96 | Micrografías de la muestra de mortero con 0% silica gel a diferentes magnificaciones | 202 |
| Figura 97 | Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 200 a diferentes magnificaciones | 203 |
| Figura 98 | Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 270 a diferentes magnificaciones | 204 |
| Figura 99 | Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 325 a diferentes magnificaciones | 205 |
| Figura 100 | Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 400 a diferentes magnificaciones | 206 |
| Figura 101 | Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula pasante del tamiz N° 400 a diferentes magnificaciones | 207 |

RESUMEN

La presente investigación es un estudio de la elaboración de morteros compuestos de residuos de cerámica sanitaria reciclada, cemento, silica gel en diferentes porcentajes y tamaños, con el propósito de disminuir la contaminación ambiental creando un material ecológico para la industria de la construcción. Para esto se realizó dos fases, la primera consiste en un análisis bibliográfico mediante el cual se determinó los ensayos necesarios para la elaboración de morteros. Después se procede a realizar ensayos experimentales de acuerdo a la Normativa Técnica Ecuatoriana, iniciando por la caracterización de los materiales, seguido de la dosificación ideal en base a las propiedades de los componentes del mortero. A partir de la dosificación se elaboró especímenes con varios porcentajes de silica gel, los mismos que fueron ensayados a compresión y flexión, dando como resultado un porcentaje de 0.5% como óptimo debido a que la resistencia fue la más alta con un valor de 265.90 kg/cm². Posteriormente, se realizó probetas con el porcentaje óptimo pero a diferentes tamaños de partícula de silica gel, de la que se obtuvo como resultado una resistencia de 288.13 kg/cm², perteneciente a los morteros con inclusión de sílice con tamaño menor a 38µm (pasante tamiz N°400), el mismo que es superior al especificado en la normativa vigente. Finalmente, se realizó análisis EDS y SEM en los que se determinó la presencia de anortita y albita, así como también etringita.

PALABRAS CLAVES:

- **MORTERO**
- **CERÁMICA**
- **POLÍMERO**
- **RESISTENCIA**
- **MICROGRAFÍA**

ABSTRACT

This investigation is a study of the production of mortar using residues of sanitary recycled ceramics, cement and silica gel in different percentages and sizes. The main purpose of this research is to create an ecological material useful for the construction industry and to reduce environmental pollution. There were two phases, the first one consisting of a bibliographical analysis by means of which the necessary essays can be determined for mortar elaboration. The second phase involves the realization of experimental essays according to the Ecuadorian Technical Normative. These include material characterization following by the ideal dosing based on the properties of the mortar components. With the ideal dosing some samples were prepared including different percentages of silica gel and were tested to compression and flexion, giving as a result of 0.5%, considering as optimum percentage because the resistance value of 265.90 kg/cm² was the highest. Then some samples were produced with the ideal dosage and different silica gel particle size. The highest resistance value of 288.13 kg/cm² belongs to mortar with silica particles with sizes less than 75 μm (passes No. 400 sieves) included. This value is superior to the specified one in the current normative. Finally, the EDS and SEM analysis determine the presence of anorthite, albite and ettringite.

KEY WORDS:

- **MORTAR**
- **CERAMIC**
- **POLIMER**
- **RESISTENCE**
- **MICROGRAPHY**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

Los recursos naturales a lo largo de la historia han sido utilizados para el beneficio del ser humano. Durante el siglo pasado, debido al aumento del desarrollo en todo el mundo, se ha provocado de manera inconsciente una degradación del medio natural. Esta degradación no es causada sólo por la extracción de recursos naturales, sino también por la generación de residuos sólidos provenientes de las industrias cerámicas (Baena Extremera, Gómez López, & Granero Gallegos, 2012).

Surge la necesidad de crear procesos encaminados al mejor aprovechamiento de los recursos y reciclado de residuos. Muchas veces estos residuos son depositados en botaderos o en lugares vacíos, esto con el tiempo se ha vuelto incontrolable, provocando así un aumento en la contaminación ambiental y un considerable impacto visual debido al gran espacio que ocupan (López Gayarre, 2008). Son un ejemplo los stocks de residuos de las fábricas como Franz Viegner, Edesa, Briggs, Kerámicos, etc., ubicados en Quito. Viendo el panorama, sustituir los áridos naturales por residuos sólidos de cerámica se convierte en una alternativa que puede impulsar el desarrollo sostenible de la industria de la construcción (Martínez Herrera, Pavón de la Fé, Etxeberria Larrañaga, & Díaz Brito, 2012).

Los residuos constituyen un problema ambiental que pueden causar contaminación en agua, suelo, aire y afectar al ecosistema. Sin embargo, cuando estos residuos son utilizados

adecuadamente pueden contribuir al ahorro de materias primas, a la conservación de los recursos naturales y al desarrollo sostenible (De Guzmán Báez, 2010). Como sabemos los residuos cerámicos son inertes y por lo tanto, no son peligrosos, pero es necesario tener una gestión para ellos dado que el volumen de estos no para de crecer (Bolaños Noboa, 2015).

Las empresas cerámicas han tratado de mantener un buen control de calidad en la producción de cerámica de “línea blanca”, tomando en cuenta: la resistencia a la rotura, el escuadrado, el calibre y el tono, las tres primeras se hacen de forma mecánica, y la última de manera visual. Todo esto ha ido evolucionando para evitar tener rechazos en grandes cantidades (Tortajada, Peris-Fajarnés, Aguilar, & Latorre, 2006).

A lo largo de la producción de la cerámica aunque existan mejoras en el proceso de fabricación, inevitablemente se generara un porcentaje de producto no apto para la comercialización, que se convierte en rechazo. Esto se debe a dos razones principales: la primera es la rotura y defectos en las dimensiones, las cuales no afectan a las características intrínsecas del material, la segunda son los defectos que afectan a las características físico-químicas, como son los defectos de cocción (Medina, Frías, Sánchez de Rojas, Morán, & Guerra, 2011).

La gestión de estos residuos se ha convertido en una necesidad, es así que han tratado de darle una solución, tomando en cuenta las características y los recursos que contienen estos residuos, pero no se ha presentado hasta la fecha una opción clara de gestión para los residuos sólidos provenientes de cerámicas, a no ser por el común desecho de los mismos en botaderos autorizados por el municipio.

El residuo de cerámica se obtiene mediante un proceso que comienza con la transformación de minerales como: la arcilla, feldespato y cuarzo, para después formar piezas cerámicas que son

utilizadas en diferentes ambientes. El desecho cerámico sanitario está compuesto principalmente de óxido de silicio, óxido de aluminio y de otros compuestos que se presentan en la Tabla 1 (Salvador Simons, 2015).

Tabla 1
Composición Química

| COMPONENTES (Presentes en rotura molida) | % |
|---|-------------|
| SiO ₂ | 68,5 |
| Al ₂ O ₃ | 22,8 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,87 |
| CaO | 0,88 |
| K ₂ O | 1,86 |
| Na ₂ O | 3,00 |
| TiO ₂ | 0,78 |
| MgO | 0,36 |
| L.O.I.* | 0,44 |
| TOTAL | 99,5 |

Fuente: (Salvador Simons, 2015)

Como bien sabemos la industria de la construcción se ha enfocado en utilizar estos residuos para fabricar morteros y sus componentes, iniciando una gestión de residuos sólidos provenientes de fábricas de cerámica. En varios países se ha implementado este método, pero no se han centrado en utilizar residuos reciclados de cerámica sanitaria, que puede convertirse en un elemento útil para la creación de materiales de construcción.

La alta generación de residuos y su bajo porcentaje de reciclaje, hace que la sociedad tome conciencia en el problema y las autoridades gobernantes inicien políticas enfocadas a un mejor aprovechamiento de estos recursos y al fomento de su reutilización como materiales de construcción.

1.2. Estado del arte del mortero

En el año 1946 en Rusia, Glushge inicia la investigación del reciclado de residuos de hormigón, es así que empiezan una gran cantidad de trabajos en todo el mundo, concentrándose en la caracterización, análisis del comportamiento mecánico y durabilidad de los hormigones reciclados (Medina, Frías, Sánchez de Rojas, Morán, & Guerra, 2011) .

Bajo el contexto de la utilización de áridos procedentes de residuos reciclados, Silva, de Brito y Veiga (2010) plantea utilizar los residuos de cerámica roja como sustituto de árido fino natural en la elaboración de morteros, obteniendo como resultado porcentajes óptimos del 20% y 50% al sustituir el agregado fino natural. Además, se llega a la conclusión que al reemplazar el 100% del agregado se obtienen resultados negativos respecto al mortero patrón.

En la actualidad en Arequipa se realizaron investigaciones, una de ellas es la denominada “Fabricación de morteros geo-poliméricos eco-amigables a partir de residuos inorgánicos mineros como producto alternativo a morteros de cemento Portland”, en este estudio se obtuvieron morteros geo-poliméricos mediante la mezcla de residuos inorgánicos mineros y arenas finas, observando en los resultados que la resistencia a la compresión uniaxial a temperatura ambiente y temperatura de ensayo supera significativamente en un 186% a la resistencia requerida en la elaboración de morteros de cemento Portland (Gutiérrez López, 2018).

En España en la Universidad de Córdoba existen estudios basados en la elaboración de morteros utilizando residuos sólidos, uno de estos es el denominado “Aplicación de residuos en la fabricación de morteros industriales”, en el que se han utilizado dos tipos de áridos reciclados, uno proveniente de residuos mixtos que contienen un alto porcentaje de ladrillo rojo cerámico (FMRA) y otro que procede de residuos de hormigón (FRCA). Esta investigación concluyó que

se puede admitir la sustitución de la arena natural hasta un 50% por árido reciclado para la elaboración de morteros industriales, sin que sus propiedades puedan verse afectadas, reduciendo en forma significativa la extracción de arena natural de canteras y ríos (Fernández Ledesma, 2016).

Además, en la Universidad Central del Ecuador se han realizado investigaciones entre las cuales se puede destacar la denominada “Estudio del uso de residuos cerámicos como sustituto de un porcentaje del cemento para la fabricación de morteros” en la que se concluyó que los morteros elaborados a base de cerámica triturada, presentan ventajas en cuanto a la resistencia a la compresión respecto a los morteros elaborados de forma tradicional (Chicaiza Casa & Guerra Bastidas, 2017).

1.3. Estado del arte de la cerámica

A lo largo de los años que se ha ido investigando los residuos sólidos de desechos industriales, se ha llevado a cabo una gran cantidad de trabajos en los cuales se hace uso de cerámica reciclada (Medina, Frías, Sánchez de Rojas, Morán, & Guerra, 2011).

España es uno de los países que ha realizado estudios enfocados en la reutilización de residuos sólidos. En la Universidad Politécnica de Valencia se realizó una investigación basada en los residuos de cerámica sanitaria nombrada como “Reutilización de residuos de cerámica sanitaria en la fabricación de morteros de activación alcalina: uso como árido y como matriz”, en este estudio se efectuó una caracterización física y química del polvo de cerámica sanitaria para determinar su actividad puzolánica, con ese material fue diseñado el mortero alcanzando buenos valores de resistencia a compresión, es así que mediante los resultados obtenidos se demostró que

se pueden utilizar varios materiales residuales para la generación de matrices geo-poliméricas de muy buenas prestaciones mecánicas (Yarasca Gabriel, 2015).

A nivel internacional se han realizado varios estudios en los cuales se utilizó residuos de cerámica uno de estos se denomina “Aplicabilidad de residuos mixtos y cerámicos en materiales cementíceos” realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña, en este trabajo se llegó a demostrar que la trabajabilidad en morteros se mantuvo constante mientras se aumentaba el porcentaje de sustitución de filler cerámico por cemento, en el caso de la resistencia a compresión se determinó que a mayor porcentaje sustituido, menor fue la resistencia (Rivera Morales, 2012).

En la Escuela de Camins se realizó una investigación denominada “Análisis de las propiedades de hormigones de altas resistencias fabricados con residuos mixtos y cerámicos” en la que se demostró que los hormigones con áridos reciclados mejoran las retracciones, sin disminuir las propiedades físicas y mecánicas, este hecho hace que la fabricación de estos hormigones sean aptos para las construcciones de alta resistencia (Lafuerza Abel, 2014). Otro estudio denominado “Caracterización de los hormigones realizados con áridos reciclados procedentes de la industria de cerámica sanitaria” demuestra que es posible la utilización de residuo cerámico como reemplazo de árido grueso de forma parcial en la elaboración de hormigones estructurales (Medina, Frías, Sánchez de Rojas, Morán, & Guerra, 2011).

En Ecuador también se han presentado investigaciones encaminadas a la reutilización de residuos sólidos, uno de estos fue realizado en la Universidad de Cuenca con el título de “Caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso” en este estudio se utilizó la denominada chamota que proviene de piezas quemadas que se han roto durante la elaboración de vajillas de cerámica, aquí

se obtuvo como resultado que no es viable su uso para hormigón estructural debido a la baja resistencia y la alta permeabilidad (Mora Abril, 2014).

Los estudios antes mencionados han sido utilizados como base para el desarrollo de la presente investigación.

1.4. Definición del problema

El problema surge a partir del desarrollo social a nivel industrial y económico, incrementando la generación de residuos de distinta naturaleza (urbanos, industriales, de construcción, etc.). La fabricación de cualquier producto implica inevitablemente la generación de restos sólidos, líquidos y gaseosos que corresponden a pérdida de materias primas. El abandono y la gestión inadecuada de los residuos procedentes de las distintas actividades productivas producen impactos notables, que pueden provocar la contaminación del agua, suelo y aire (Medida Martínez, Sánchez de Rojas Gómez, & Frías Rojas , 2015).

La gestión de los residuos se ha convertido en una de las necesidades más urgentes de la sociedad, la Unión Europea se encuentra más inmersa en este tema, haciendo que sus habitantes tengan más práctica en el reciclaje.

La gestión de reutilización pretende la eliminación de residuos, ya que estos materiales pueden convertirse en materia prima, y de esta manera se supone una reducción en la cantidad de recursos naturales extraídos, haciendo que la explotación de estas materias primas tenga un aumento en su vida útil.

1.4.1. Macro

Por ejemplo, en España la industria cerámica es un sector industrial con un elevado volumen de producción, en la cual un 30% de la producción diaria en las fábricas cerámicas son residuos, lo que conlleva un aumento de más de 50.000 toneladas anuales de residuos sólidos que van directamente a botaderos. Debido a que no es viable tecnológicamente la incorporación de estos residuos en el propio proceso de producción, son depositados en vertederos creando un problema de impacto ambiental, por lo que resulta necesaria la búsqueda de soluciones efectivas para el reciclado y valorización de este residuo cerámico (García Díaz & Puertas Maroto, 2011).

1.4.2. Meso

En Ecuador en el 2014 de los 221 GAD Municipales, 82 mantuvieron procesos de separación de los residuos sólidos que representan el 37% del total a nivel nacional, mientras que en el 2015 el 38% de los GAD iniciaron procesos de separación. El total de toneladas de residuos recolectados al día en 2014 fue de 11203.24 Ton y en el 2015 fue de 12829.41 Ton, de las cantidades mencionadas en el 2014 el 46% corresponden a residuos inorgánicos, esta cantidad se ha incrementado en un 12% en el 2015 (INEC - AME, 2015).

En el 2015 el 42% de la cantidad total de residuos ha sido botada en rellenos sanitarios, el 23% en botaderos a cielo abierto, el 18% en botaderos controlados y el 17% en celdas emergentes. Es así que podemos indicar que mientras menos reciclaje y reutilización de residuos exista, habrá más contaminación debido a que al pasar los años se tendrá que buscar más lugares para depositar estos materiales que no están en uso (INEC - AME, 2015).

1.4.3. Micro

El problema en el Distrito Metropolitano de Quito radica en la generación de grandes cantidades de material cerámico de desecho, ya que son piezas cerámicas que al no cumplir con las especificaciones requeridas del mercado, son desechadas a rellenos sanitarios.

Según la Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos EMGIRS-EP (2013), en octubre del 2013 se realizó una consultoría para la caracterización de residuos sólidos urbanos receptados en las estaciones de transferencia norte y sur del Distrito Metropolitano de Quito, ahí se conoció las características específicas de cada grupo de residuos, así como también los porcentajes o cantidades de estos. En la estación de transferencia norte se obtuvo un porcentaje de 0,223% de loza, cerámica y tierra, mientras que en la estación de transferencia sur el porcentaje fue de 0,382%.

EDESA es una fábrica que produce gran cantidad de desechos de cerámica sanitaria, aproximadamente 105 toneladas semanales de rotura, las cuales son trituradas mediante métodos manuales y mecánicos, luego cernidos a través de una malla hasta alcanzar un tamaño de 6.7 mm y posteriormente enviados a los botaderos autorizados por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito (Narvaéz Padilla, 2012).

La generación de estos desechos ha sido controlada en lo posible con buenas prácticas de manufactura y aseguramiento de calidad de las actividades productivas, pero a pesar del gran esfuerzo que se ha realizado, esto no deja de generar desechos (Salvador Simons, 2015).

1.5. Área de influencia

La zona de estudio es el sector de la construcción a nivel nacional la cual se encuentra situada geográficamente en las coordenadas 2° 0' 0'' latitud sur y 77° 30' 0'' longitud oeste. Limita con Colombia al norte, al sur y este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico.

1.5.1. Área de Intervención

Industria de la construcción de mampuestos.

1.5.2. Área de influencia directa

Se tiene como área de influencia directa a todos los involucrados en la industria de la construcción en la provincia de Pichincha.

1.5.3. Área de influencia indirecta

Todos los involucrados en la industria de la construcción en el Ecuador.

1.6. Justificación e Importancia

La industria de la construcción es uno de los principales responsables del constante deterioro del ambiente, esto genera preocupación a nivel global. Algunos países se han enfocado en analizar varias alternativas que ayuden a mitigar los efectos perjudiciales que se crean con la actividad humana. Una de las opciones es implementar nuevos materiales en la construcción, que permita reducir el porcentaje de residuos sólidos no reciclados y a la vez disminuir los altos índices de explotación de materiales pétreos en minas y canteras.

En el Distrito Metropolitano de Quito se presenta una gran cantidad de desperdicios procedentes de la fabricación de cerámica de sanitarios, gran parte de estos han seguido un

proceso establecido para cumplir las respectivas especificaciones de sus usos, así como también han pasado por una revisión exhaustiva en la cual al no cumplir las características necesarias para la que fueron diseñadas son desechadas y de esta manera se incrementa el volumen de residuos sólidos, es ahí donde se ve la necesidad de utilizar estos desechos como nueva materia prima, específicamente como áridos finos para fabricación de morteros.

La presente investigación fue desarrollada para comprobar la utilidad que se le puede dar a los desechos de cerámica que pueden ser utilizados como árido fino en la elaboración de morteros con el añadido de aditivo super- absorbente.

1.7. Objetivos

1.7.1. Objetivo general

Diseñar morteros de fraguado rápido, con la utilización de cerámicos sanitarios reciclados y polímeros super- absorbentes (gel de sílice), como recubrimiento de mampostería.

1.7.2. Objetivos específicos

- Caracterizar las propiedades de los residuos de cerámica sanitaria para obtener una dosificación adecuada.
- Elaborar morteros de fraguado rápido reemplazando el 100% de agregados finos por residuos de cerámica sanitaria.
- Determinar el porcentaje óptimo de gel de sílice, en la dosificación para la elaboración del mortero.
- Evaluar la influencia del gel de sílice, en el diseño de morteros para mampostería.
- Realizar ensayos de resistencia a la flexión y compresión.

1.8. Metas

- Determinación de las propiedades físicas de las partículas de cerámica sanitaria a utilizarse en la elaboración de morteros de fraguado rápido.
- Diseño de mortero de fraguado rápido con arena elaborada a base de residuos de cerámica sanitaria, graduada de acuerdo a los límites establecidos en las normas vigentes.
- Recopilación de resultados con diferentes porcentajes de gel de sílice (0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%) para la obtención de morteros de mejor resistencia y fraguado rápido.
- Comparación de la resistencia del mortero de cerámica sanitaria versus mortero de cerámica sanitaria que contiene el porcentaje óptimo de gel de sílice.
- Análisis de los resultados obtenidos de los ensayos realizados y verificación de que el mortero de cerámica sanitaria tenga las características de resistencia a la compresión y flexión de acuerdo a las normas vigentes.

1.9. Hipótesis

La utilización de polímeros super- absorbentes (gel de sílice) y residuos provenientes de cerámica sanitaria mejoran las propiedades físicas de morteros.

1.10. Metodología de desarrollo del proyecto

La metodología del trabajo de titulación corresponde con el método inductivo experimental, este método va de lo particular a lo general, es un proceso mental que al llegar al conocimiento o la demostración de la verdad de los hechos particulares, probados, hace que se pueda llegar a una conclusión general. Es un método que se basa en observación, estudio, experimentación, análisis y conclusiones.

Inicialmente se realizó investigación bibliográfica recopilando información sobre la inclusión de residuos de cerámicos y gel de sílice en hormigones y morteros. Además, se propuso la elaboración de morteros de fraguado rápido con la inclusión de residuos de cerámica de sanitarios y polímero super- absorbente (gel de sílice).

Posteriormente se realizaron ensayos para determinar las propiedades físicas y mecánicas de los residuos de cerámica sanitaria, de esta manera se estableció una dosificación óptima para la obtención de dichos morteros, lo cual se evaluó mediante los resultados de la resistencia a la compresión y flexión. Con estos resultados se procedió a la elaboración de los morteros y al ensayo de los mismos.

Se concluyó con la propuesta de incluir el mortero en la industria de la construcción, para disminuir los altos niveles de contaminación que producen los residuos de cerámica sanitaria en la actualidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Descripción General

En el siglo III A.C. en Egipto se usaron morteros de yeso quemado y arena, luego en Grecia y Roma los morteros se elaboraban a base de materiales como cal quemada, toba volcánica y arena (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

En el siglo XX comenzó el uso del cemento Portland como constituyente del mortero, este permitió obtener un mortero con mayor resistencia. En la actualidad el mortero aún se elabora con cemento Portland y cal hidratada, también con cementos para mampostería o cemento para mortero (NTE INEN 2 518, 2010).

El mortero es un material muy utilizado en la construcción se emplea para el revestimiento de suelos, protección en taludes, paredes y techos de edificaciones. El mortero puede ser fabricado con cemento, cal o una mezcla de ambos. De igual forma, la arena utilizada puede ser de diferente granulometría y su naturaleza puede ser silícica, calcárea o bien obtenida a partir de áridos reciclados o de subproductos industriales. La cantidad de agua añadida a la mezcla puede influir también en su comportamiento, especialmente en la porosidad del mortero. (Gadea Sáinz, Calderón Carpintero, & Gutiérrez González, 2011) .

El mortero puede ser producido utilizando cemento para mampostería y este puede ser mejorado mediante la adición de cal hidratada, la cual ayuda a mejorar las propiedades como: la

plasticidad, la retención de agua y la estabilidad volumétrica. (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005)

A continuación se describe los distintos tipos de morteros que se pueden elaborar.

2.1.1. Clasificación según su composición

- **Mortero de cemento Portland**

Este tipo de mortero generalmente carece de plasticidad, tiene baja retención de agua, es más duro y menos trabajable que el mortero con cemento para mampostería. Un mortero de cemento Portland y arena tiene alta resistencia a la compresión y baja retención de agua, es decir, un muro construido con este mortero tendrá buena resistencia pero será vulnerable al agrietamiento, a diferencia de un mortero de cal y arena que presenta baja resistencia a la compresión y alta retención de agua (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

- **Mortero de cemento de Mampostería**

Es un mortero que generalmente tiene cemento Portland y finos, como caliza y otros materiales en proporciones diferentes. Los morteros diseñados con él, poseen en general una excelente trabajabilidad y durabilidad (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

Los tipos de mortero para mampostería en 1954 fueron designados A1, A2, B, C y D, en la actualidad se han designado otras letras para evitar que se piense que un tipo de mortero era mejor que el otro, por consiguiente se designó con las siguientes letras M, S, N y O las cuales se las obtiene del deletreo de la palabra trabajo de mampostería en inglés MaSoN wOrK, pero el tipo K ya no aparece ya que no presentaba grandes diferencias con el tipo O y este lo reemplaza en la actualidad (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

2.1.2. Especificaciones por dosificación

Los morteros que cumplan estas especificaciones deben consistir en una mezcla de material cementante, árido y agua, además, cumplir con los requisitos por dosificación especificados en la Tabla 2.

Tabla 2
Especificaciones por dosificación. Requisitos

| Mortero | Tipo | Dosificación por volumen (materiales cementantes) | | | | | | Relación de áridos (medidos en condición húmeda, suelta) | | |
|--------------------------|------|---|----------------------|-----|-----|--------------------------|-----|--|---|---|
| | | Cemento Portland o cemento compuesto | Cemento para mortero | | | Cemento para mampostería | | | Cal hidratada o masilla de cal | |
| | | | M | S | N | M | S | | | N |
| Cemento y cal | M | 1 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | 1/4 | |
| | S | 1 | --- | --- | --- | --- | --- | Sobre 1/4 a 1/2 | | |
| | N | 1 | --- | --- | --- | --- | --- | Sobre 1/4 a 1 1/2 | | |
| | O | 1 | --- | --- | --- | --- | --- | Sobre 1 1/4 a 2 1/2 | | |
| Cemento para mortero | M | 1 | --- | --- | 1 | --- | --- | --- | No menos que 2 1/4 y no más de 3 1/2 la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes | |
| | M | --- | 1 | --- | --- | --- | --- | --- | | |
| | S | 1/2 | --- | --- | 1 | --- | --- | --- | | |
| | S | --- | --- | 1 | --- | --- | --- | --- | | |
| | N | --- | --- | --- | 1 | --- | --- | --- | | |
| Cemento para mampostería | O | --- | --- | --- | 1 | --- | --- | --- | | |
| | M | 1 | --- | --- | --- | --- | 1 | --- | | |
| | M | --- | --- | --- | 1 | --- | --- | --- | | |
| | S | 1/2 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | | |
| | S | --- | --- | --- | --- | 1 | --- | --- | | |
| N | --- | --- | --- | --- | --- | 1 | --- | | | |
| O | --- | --- | --- | --- | --- | 1 | --- | | | |

NOTA. En el mortero no debe ser combinados dos agentes incorporadores de aire

Fuente: (NTE INEN 2 518, 2010)

2.1.3. Especificaciones por propiedades

Los morteros que cumplan estas especificaciones deben cumplir los requisitos de la Tabla 3.

Tabla 3
Especificaciones por propiedades. Requisitos

| Mortero | Tipo | Resistencia promedio a la compresión a 28 días, min (MPa) | Retención de agua, % min | Contenido de aire, % máx. ^B | Relación de áridos (medidos en condición húmeda, suelta) |
|--------------------------|------|---|--------------------------|--|---|
| Cemento y cal | M | 17,2 | 75 | 12 | No menos que 2¼ y no más de 3½ la suma de los volúmenes separados de materiales cementantes |
| | S | 12,4 | 75 | 12 | |
| | N | 5,2 | 75 | 14 ^C | |
| | O | 2,4 | 75 | 14 ^C | |
| Cemento para mortero | M | 17,2 | 75 | 12 | |
| | S | 12,4 | 75 | 12 | |
| | N | 5,2 | 75 | 14 ^C | |
| | O | 2,4 | 75 | 14 ^C | |
| Cemento para mampostería | M | 17,2 | 75 | 18 | |
| | S | 12,4 | 75 | 18 | |
| | N | 5,2 | 75 | 20 ^D | |
| | O | 2,4 | 75 | 20 ^D | |

^A Únicamente morteros preparados en laboratorio (ver la nota 6).

^B Ver nota 7.

^C Cuando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento y cal, el contenido máximo de aire debe ser 12%

^D Cuando el refuerzo estructural está embebido en un mortero de cemento con mampostería, el contenido máximo de aire debe ser 18%

Fuente: (NTE INEN 2 518, 2010)

A continuación se describen los tipos de morteros presentes en las Tablas 2 y 3, que se refieren tanto para especificaciones por dosificación como por propiedades.

- **Mortero tipo M**

Este tipo de mortero posee alta resistencia y ofrece mayor durabilidad, se lo recomienda para mampostería reforzada o sin refuerzo, que pueda ser sujeta a altas cargas de compresión, presión lateral de tierra, vientos huracanados o terremotos. Este mortero se recomienda utilizarlo en estructuras enterradas que estén en contacto con el suelo como fundaciones, muros de contención y alcantarillas (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

- **Mortero tipo S**

Este tipo de mortero aporta mayor resistencia a la adherencia, su uso por lo general es en estructuras que están sometidas a cargas normales, también se recomienda usarlo como mortero de pega (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

- **Mortero tipo N**

Este mortero tiene una resistencia media, combina mejor las propiedades como la resistencia, trabajabilidad y economía, es adecuado para peñetes (pancartas) y paredes interiores de partición (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

- **Mortero tipo O**

Este mortero de resistencia baja tiene un alto contenido de cal, se recomienda su uso en peñetes (mortero de cemento Portland), paredes interiores de partición y poco cargadas, al existir presencia de humedad este no endurece. Es un mortero utilizado en casas de uno o dos pisos, además, es preferido por los obreros por ser económico y por su excelente trabajabilidad (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

- **Morteros de cemento portland y cal hidratada**

Este mortero está elaborado con cemento Portland, cal hidratada (pasta de cal), agregado y agua, la mezcla es conocida como mortero bastardo. Este mortero se lo utiliza cuando se requiere trabajabilidad, buena retención de agua y resistencia inicial alta. La cal adicional permite que este mortero sea más denso, trabajable e impermeable que el mortero de cemento (Meza Hajar, 2004).

En este trabajo se empleó el Mortero tipo M elaborado con cemento para mampostería, residuos de cerámica sanitaria triturada sustituyendo al agregado natural, aditivo y agua, esta mezcla será empleada en enlucido de paredes, para lo cual debe obtener una resistencia promedio mínima a la compresión a 28 días de 17.2 MPa (175.3912 kg/cm²).

2.2. Propiedades del Mortero

Dentro de las prestaciones de un mortero se pueden distinguir dos etapas, que se denominan estado fresco y estado endurecido. La primera fase, es cuando el mortero ya ha sido mezclado y amasado, su duración depende del tiempo de fraguado requerido, así como también de la temperatura y la humedad. Durante esta etapa el mortero es trabajable y plástico. Después de esta fase, el mortero se endurece hasta consolidarse (AFAM, 2003). Los materiales que se utilizaron para fabricar el mortero de esta investigación consisten en arena elaborada con residuos de cerámica sanitaria reciclada, cemento, agua y gel de sílice.

Los dos parámetros más importantes del mortero son la resistencia y la adherencia. La adherencia es una propiedad que tiene la misión de aglutinar, pero también influye en otras propiedades como en la resistencia o en la estanqueidad (Rodríguez Mora, 2004).

2.2.1. Propiedades de Mortero en estado fresco

El mortero en estado fresco debe poseer propiedades para poder moldearse, estas propiedades le permiten al mortero mantenerse en estado fresco desde el amasado hasta que inicia la reacción de fraguado (Chicaiza Casa & Guerra Bastidas, 2017).

Las propiedades del mortero plástico o en estado fresco determinan la facilidad de construcción de la mampostería y del acabado de los elementos estructurales, además, influyen en

el comportamiento del mortero endurecido. Las características del mortero en estado fresco definen en primera instancia la calidad del material a utilizar, y su importancia en conocerlas, ya que, de esta manera pueden ser utilizadas como criterio de aceptación o rechazo (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

2.2.1.1. Trabajabilidad o manejabilidad

Es el tiempo durante el cual el mortero puede ser utilizado sin necesidad de adicionar agua, con el fin de contrarrestar el endurecimiento por el principio de fraguado. Corresponde al tiempo en minutos hasta que el mortero alcanza un límite definido de resistencia. Las características del mortero en estado fresco se mantienen durante este tiempo (AFAM, 2003).

Según el Apéndice V.5.1 de la Norma NTE INEN 2518, la trabajabilidad es la propiedad más importante del mortero en estado plástico. Un mortero que tiene buena trabajabilidad puede cubrir con facilidad separaciones y agrietamientos de una mampostería. La trabajabilidad es la combinación de varias propiedades entre estas la plasticidad, consistencia, cohesión y adherencia (NTE INEN 2 518, 2010).

La trabajabilidad está relacionada con la consistencia, se refiere a la fluidez del mortero, es decir, que tan dura o blanda es la mezcla en estado plástico. La fluidez obtenida mediante el ensayo de la mesa de flujo, generalmente es tomada como medida de manejabilidad (Sánchez De Guzmán, 2001).

La mayor parte de la trabajabilidad está determinada por la granulometría de los áridos, la dosificación de material y contenido de aire, pero el ajuste final para la trabajabilidad depende del contenido de agua (NTE INEN 2 518, 2010).

2.2.1.2. Consistencia

La consistencia de un mortero define la manejabilidad o trabajabilidad del mismo. Para obtener la consistencia adecuada se debe poner una cantidad de agua en función de la granulometría del mortero, así como también del tipo de aditivo que se emplee y la absorción de agua del agregado. La trabajabilidad puede ser mejorada adicionando cal, plastificantes o aireantes (AFAM, 2003).



Figura 1 Probeta antes y después del procedimiento de ensayo de consistencia

Las consistencias más utilizadas en mortero fresco, que varían según su uso, son aquellas que corresponden a los valores medidos en la mesa de flujo, las cuales se muestran en la Tabla 4 (Del Olmo Rodríguez, 1994).

Tabla 4

Tipo de consistencia

| Consistencia | Mesa de sacudidas |
|--------------|--------------------|
| Seca | Menor de 140 mm |
| Plástica | Entre 140 y 200 mm |
| Blanda | Mayor de 200 mm |

Fuente: (Del Olmo Rodríguez, 1994)

Existen tres tipos de consistencias que se puede obtener en función de la película de pasta conglomerante que rodea a los áridos finos. (Collado Trabanco, 2015)

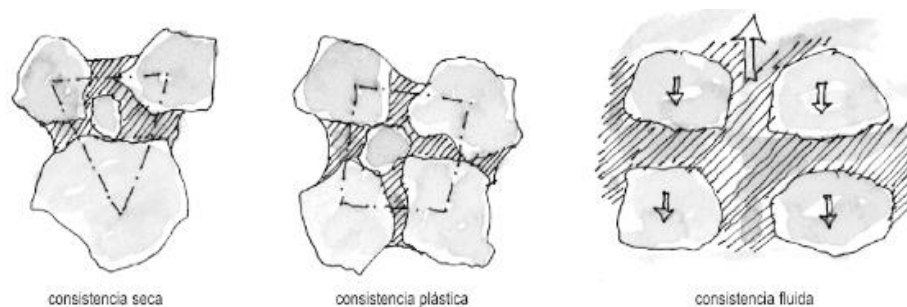


Figura 2 Consistencia del mortero

Fuente: (Collado Trabanco, 2015)

En la consistencia seca el conglomerante solo rellena el hueco entre los áridos, provocando un roce entre partículas. En este caso se obtiene una pasta áspera e intrabajable. (Collado Trabanco, 2015)

La trabajabilidad adecuada se da cuando el mortero tiene consistencia plástica, en la cual la superficie de los áridos es totalmente cubierta por la pasta conglomerante generando una buena adherencia (AFAM, 2003).

En la consistencia fluida los áridos están inmersos en la pasta conglomerante sin causar ningún tipo de cohesión y con tendencia a colocarse por gravedad, por esto tienden a segregarse (Collado Trabanco, 2015).

La consistencia se adquiere mediante la adición de agua, es así que esta propiedad está ligada directamente con la relación agua/cemento. Cuando un mortero tiene exceso de agua puede provocar exudación, este fenómeno causa que el agua de la parte inferior se dirija hacia arriba cuando la granulometría tiene gran porcentaje de árido grueso. El resultado es una mezcla no homogénea con una posible merma en propiedades del mortero endurecido (AFAM, 2003).

2.2.1.3. Fluidéz

La fluidez o flujo inicial es una propiedad del mortero medida en laboratorio, que indica el porcentaje de aumento en el diámetro de la base de un cono truncado de mortero. Este ensayo se realiza al colocar la mezcla sobre una mesa de flujo, la misma que es levantada mecánicamente 12.7 mm, dejándola caer 25 veces en 15s (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).



Figura 3 Mesa de flujo

Según la norma NTE INEN 2518 el mortero de construcción (en obra) requiere un mayor flujo que el mortero que se elabora en laboratorio. El flujo inicial para morteros de construcción se encuentra en el rango de 130% y 150% (50mm a 60mm, mediante el cono de penetración), y en laboratorio el flujo inicial esta entre el 105% y 115% (NTE INEN 2 518, 2010).

En la Tabla 5 se puede observar la fluidez recomendada para morteros, dependiendo de la consistencia, tipo de estructura, condiciones y sistema de colocación.

Tabla 5
Fluidez recomendada para morteros

| % Fluidez (Mesa de flujo) | Consistencia | Tipo de estructura | Condiciones de colocación | Sistema de colocación |
|--------------------------------------|---------------------|--|--------------------------------------|---|
| 80-100 | Dura (seca) | Reparaciones recubrimiento de túneles, galerías, pantallas de cimentación, piso. | Secciones sujetas a vibración. | Proyección neumática, con vibradores de formaleta. |
| 100-120 | Media (plástica) | Pega de mampostería, baldosines, pañetes y revestimientos. | Sin vibración. | Manual con palas y palustres. |
| 120-150 | Fluida (húmeda) | Rellenos de mampostería estructural, morteros auto nivelantes para pisos | Sin vibración. | Manual, bombeo, inyección. |

Fuente: (Rivera L.)

2.2.1.4. Estanqueidad

Una de las exigencias de un mortero es impedir el paso de agua exterior, ya sea en forma de lluvia, humedad, etc. asegurando la permeabilidad y así evitando condensaciones internas. La principal fuente de filtración de agua se da a través de micro fisuras causadas por la adherencia insuficiente. Esta deficiencia en muchos casos es debido a la escasa hidratación del mortero cuando comienza a fraguar (Rodríguez Mora, 2004).

El agua puede ascender de dos formas: capilaridad y presión. La capilaridad se asocia con el movimiento del fluido a través de micro fisuras de tamaño capilar. El agua sube por esos vasos debido al efecto de su tensión superficial. La presión hidrostática también crea un flujo de agua en la masa del mortero, el agua sube por las discontinuidades o poros que están intercomunicados (Rodríguez Mora, 2004).

Otro aspecto que acrecienta la estanqueidad con respecto a la adherencia del mortero, es aumentar la cantidad de cemento o utilizando aditivos hidrofugantes. Sin embargo, al aumentar cemento pueden aparecer retracciones generando fisuras y creando nuevos problemas de filtraciones (Rodríguez Mora, 2004).

Para mejorar la estanqueidad se debe aplicar capas bien compactadas, con el objeto de reducir la red capilar interna. En el caso de aplicar varias capas se debe hidratar bien la capa anterior para que el mortero no se fisure por retracción. Y por último, se debe asegurar una correcta retención de agua (Azkárate, y otros, 2006).

2.2.1.5. Retención de agua

Según el Apéndice V.5.4 de la Norma NTE INEN 2518, la retención de agua es una habilidad que posee el mortero cuando está sujeto a fuerzas de absorción, para retener su agua de mezcla. Esta propiedad permite que el obrero coloque una unidad de mampostería sin que el mortero se endurezca rápidamente (NTE INEN 2 518, 2010).

Además, esta capacidad de retener agua le proporciona al mortero trabajabilidad en el momento que entra en contacto con una unidad de mampostería. Se puede decir que los morteros tienen baja retención de agua cuando esta es perdida rápidamente en la mezcla y su colocación se torna más difícil. La capacidad de retención de agua puede ser incrementada al añadir cal, incorporar aire, utilización de arena fina dentro de los límites de gradación permitida. La retención de agua es una medida que permite comparar el mortero antes y después de aplicarle vacío (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

2.2.2. Propiedades de Morteros endurecidos

A continuación se detallan las propiedades de los morteros endurecidos.

2.2.2.1. Adherencia

Una buena adherencia evitará que el mortero se separe de la mampostería por causa de variaciones dimensionales. Estas variaciones pueden ser causadas por distintos agentes externos (lluvia, hielo, frío-calor, etc.), las cuales dan lugar a contracciones, dilataciones y movimientos (Azkárate, y otros, 2006).

La adherencia por distintas causas puede presentarse tanto en el mortero en estado fresco como en el endurecido. El mortero tiene la capacidad de absorber tensiones normales y tangenciales a la superficie de la interfase mortero-base. La adherencia en el mortero fresco es debida a las propiedades reológicas de la pasta conglomerante, donde la tensión superficial de la masa es el factor que hace que se desarrolle esta característica. Cuando mayor es la cantidad de cemento o la cantidad de finos arcillosos la adherencia se incrementa. Sin embargo, tener una cantidad elevada de estos elementos puede perjudicar a otras propiedades (AFAM, 2003).

En el mortero endurecido la adherencia depende de la naturaleza de la superficie en la que será colocada, de la porosidad y rugosidad, así como también de la granulometría de la arena. En este estudio no se usó arena de cantera o mina, sino que se elaboró arena con residuos provenientes del reciclado de cerámica sanitaria “triturados”. Al colocar el mortero parte del agua es absorbida por la mampostería penetrando por los poros (Azkárate, y otros, 2006).

En el Apéndice V.6.1 de la Norma NTE INEN 2518, nos indica que la adherencia es probablemente la propiedad física más importante. Es también la más variable e impredecible.

Esta tiene tres aspectos: resistencia, extensión y durabilidad. Debido a que se tienen muchas variables que afectan a la adherencia, es difícil establecer un solo ensayo que la determine. Estas variables son: el contenido de aire en el momento de vaciado, cohesión del mortero, tiempo transcurrido en la aplicación del mortero, absorción de la unidades de mampostería, capacidad de retención de agua del mortero, textura de la superficie y condiciones de curado (NTE INEN 2 518, 2010).

Esta propiedad se logra cuando el mortero entra en contacto con la superficie del mampuesto y continua aumentando con la hidratación del cemento, la calidad del mortero es importante, para que resista cargas y también para absorber esfuerzos originados por los cambios volumétricos y de temperatura. En el laboratorio la adherencia puede ser medida mediante la determinación del esfuerzo a cortante, flexión o tracción (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

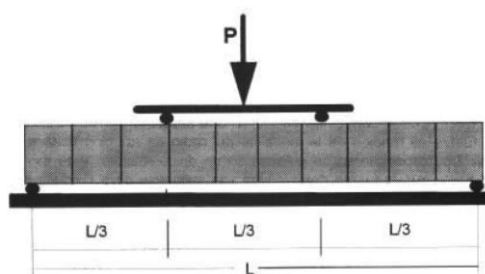


Figura 4 Montaje para el ensayo de adherencia por flexión

Fuente: (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005)

En general la adherencia del mortero crece con el aumento de consumo de cemento, es así que se ha encontrado máxima resistencia a la tensión por adherencia en morteros tipo S. La adherencia disminuye cuando se tienen superficies arenosas o cuarteadas y es mucho mejor cuando las superficies son rugosas o texturizadas (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

2.2.2.2. Resistencia a la compresión

Esta propiedad permite determinar la capacidad que puede resistir un mortero al ser aplicado una fuerza y refleja la resistencia aproximada del mismo. Esta propiedad es fácil de medir y no debe ser la única para considerar como criterio en la selección de morteros, ya que se encuentra relacionada con otras propiedades como la adherencia, resistencia a la tracción y la absorción (Gomezjurado Sarria, Sánchez de Guzmán, Osorio Redondo, & Niño Hernández, 2010).

Según la norma NTE INEN 2518 el ensayo de resistencia a la compresión en laboratorio consiste en elaborar cubos de 50mm de lado o cilindros normalizados de 75mm o 50mm, la determinación de la resistencia a la compresión proporciona resultados consistentes y reproducibles, que puede servir de base para determinar la compatibilidad de los ingredientes del mortero. Este ensayo en obra se lo realizada de acuerdo a la norma ASTM C 780 (NTE INEN 2 518, 2010).

La resistencia del mortero depende de dos elementos, del cemento y de la relación agua/cemento, al ser mayor el contenido de cemento la resistencia aumenta y en el caso de aumentar cal, arena, agua o aire la resistencia disminuye (Gomezjurado Sarria, Sánchez de Guzmán, Osorio Redondo, & Niño Hernández, 2010).

A continuación en la Figura 5 se puede observar el cubo de mortero sometido a cargas de compresión:



Figura 5 Máquina de compresión

2.2.2.3. Durabilidad

Según la norma NTE INEN 2518 la durabilidad de la mampostería relativamente seca, la cual resiste a la penetración del agua, no es un problema serio. Los problemas de durabilidad pueden darse cuando no se ha considerado la exposición al exterior. Se requiere un mortero más durable cuando se tiene una exposición extrema, expuesta a cambios de temperatura (NTE INEN 2 518, 2010).

Al igual que el concreto, el mortero debe ser diseñado para resistir agentes extremos como: bajas temperaturas, penetración de agua, retracción al secado, eflorescencias, agentes corrosivos, o choques térmicos, entre otros. Se cree que los morteros que tienen alta resistencia a la compresión también tienen buena durabilidad (Sánchez De Guzmán, 2001).

La retracción se debe a las reacciones químicas de la hidratación, pero principalmente se debe al secado (Collado Trabanco, 2015).

2.3. Composición del mortero

2.3.1. Residuos cerámicos reciclados

Los residuos en general están causando gran impacto ambiental, por este motivo se ha buscado vías experimentales para poder desarrollar morteros con la utilización de residuos cerámicos reciclados, empleándolos como material alternativo a los agregados. La producción de cerámica genera varios tipos de residuos industriales, entre estos tenemos los residuos sólidos que pueden proceder de materias primas y de cerámica antes de ser cocida o cerámicas defectuosas tras la cocción (Puertas, y otros, 2006).

Según Salvador Simons (2015), la industria cerámica desempeña diversas actividades industriales, por lo tanto, los productos cerámicos son elaborados en diferentes sectores de manufactura descritos a continuación:

- Baldosa de pared y piso.
- Ladrillos y tejas.
- Cerámica ornamental y de cocina.
- Productos refractarios.
- Cerámica sanitaria.
- Cerámica técnica.
- Agregados de arcilla expandida.
- Abrasivos inorgánicos

En la Figura 6 se observa el esquema operativo de la industria de cerámica sanitaria:

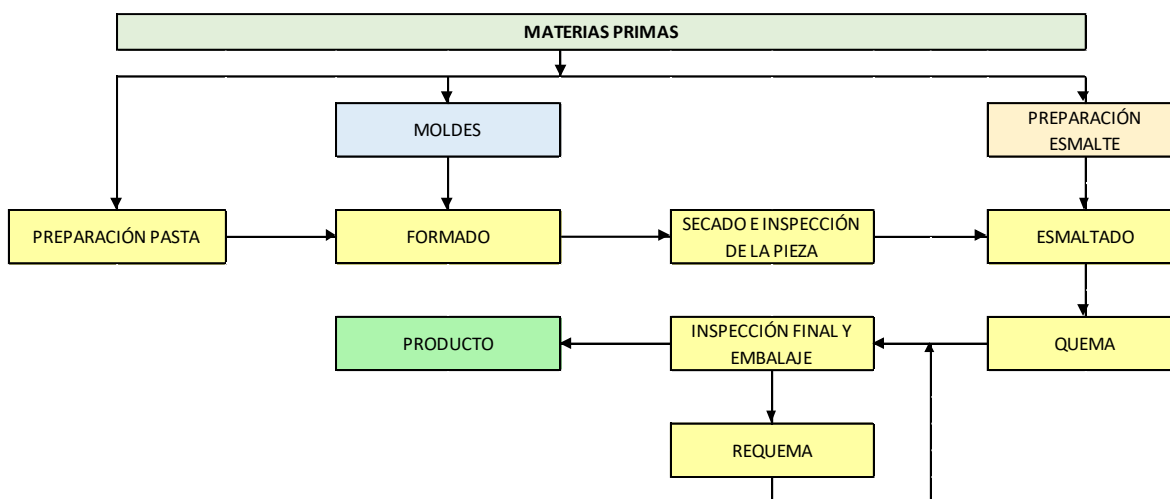


Figura 6 Esquema general del proceso de producción de cerámica sanitaria

Fuente: (Salvador Simons, 2015)

En Ecuador la fábrica EDESA produce una gran cantidad de desechos de cerámica sanitaria, los cuales son clasificados por poseer defectos, esta cantidad de rotura es de aproximadamente 420 toneladas mensuales, las cuales pueden ser utilizadas de forma óptima para la elaboración de morteros (Narvaéz Padilla, 2012).

2.3.2. Cemento

El cemento es un conglomerante hidráulico, que amasado convenientemente con agua forma una pasta que fragua y endurece en función de una serie de reacciones y procesos de hidratación, una vez endurecido conserva su resistencia y estabilidad, incluso bajo el agua. (García Díaz & Puertas Maroto, 2011)

Los cementos son aquellos que tienen la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, porque reaccionan químicamente con ella para formar un material de buenas propiedades aglutinantes. El más utilizado, es el cemento Portland hidráulico, el cual tiene

propiedades de adhesión y cohesión, que permiten aglutinar los agregados para conformar concreto y mortero. Las propiedades que presenta dependen de la composición química, el grado de hidratación, la finura, la velocidad de fraguado y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar. (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005)

El proceso de fabricación del cemento comienza con la obtención de las materias primas necesarias para conseguir la composición deseada en la producción de Clinker. El proceso de obtención del Clinker de cemento se divide en tres etapas: obtención y preparación de las materias primas, tratamiento térmico y enfriamiento. (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006)

Según Collado Trabanco (2015), los tipos de cementos que se pueden diferenciar son: cementos comunes, cementos blancos, cementos para usos especiales y cemento de aluminato de calcio.

2.3.3. Agua

El agua como componente del mortero es el que hidrata las partículas de cemento y hace que éstas desarrollen sus propiedades aglutinantes. Al mezclarse con el cemento se produce una pasta, la cual puede ser más o menos fluida, según la cantidad de agua que se agregue. Al endurecer la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua permanece en la estructura rígida de la pasta (agua de hidratación), y el resto es agua evaporable (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005) .

Según la norma NTE INEN 2 518 el agua debe ser limpia y estar libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos, u otras sustancias que sean perjudiciales para los morteros o para cualquier metal en la pared (NTE INEN 2 518, 2010).

2.3.3.1. Agua de amasado y agua de curado

El agua desempeña un papel importante como: agua de amasado y principalmente agua de curado.

El **agua de amasado**, cumple dos funciones la una es participar en la reacción de hidratación del cemento, la otra es proporcionar el grado de trabajabilidad necesaria para un correcto desempeño en la obra (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006).

El agua es un elemento esencial en la elaboración de morteros y al existir variación en su cantidad cambian sus propiedades (permeabilidad, plasticidad y trabajabilidad) (Chicaiza Casa & Guerra Bastidas, 2017).

El **agua de curado** es la más importante en la etapa de fraguado inicial y final. Su objetivo es evitar la desecación y la retracción prematura (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006).

2.3.3.2. Calidad del Agua

Cuando las impurezas presentes en el agua de mezclado son excesivas pueden influir en el tiempo de fraguado del cemento, la resistencia y estabilidad del volumen, además, provocan eflorescencias o corrosión (Quiroz Crespo & Salamanca Osuna, 2006).

Para verificar la calidad del agua se efectúa ensayos que permiten determinar si esta es apta para la fabricación de morteros, dentro de los ensayos que se deben realizar están pH., sustancias solubles, sulfatos, cloruros, hidratos de carbono, sustancias orgánicas solubles en éter (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

2.3.4. Aditivo

Los aditivos generalmente se dosifican por debajo del 5% de la masa del cemento, distinta del agua, los agregados y el cemento. No es aditivo para el cemento, pues el aditivo no consiste en mejorar al cemento, sino permitir la transformación o modificación de varias propiedades del mortero (Rivera L.).

Los aditivos son sustancias o materiales añadidos, antes o durante la mezcla, se agrega en pequeñas cantidades con relación al cemento. La función de estos materiales es mejorar las propiedades del mortero (AFAM, 2003).

Los aditivos se clasifican según las propiedades que confieren al mortero:

2.3.4.1. Acelerante

Los aditivos acelerantes reducen el tiempo de fraguado y aumentan la resistencia en edades tempranas, estos aditivos se usan normalmente en lugares con clima frío ya que el mortero se demora en fraguar disminuyendo el rendimiento de las mamposterías (Sánchez de Guzmán & Osorio Redondo, 2005).

2.3.4.2. Super- absorbentes

Los polímeros son un tipo particular de macromolécula, que se caracteriza por tener una unidad que se repite a lo largo de la molécula. (López Carrasquero, 2004)

Dependiendo de su origen, los polímeros pueden ser naturales o sintéticos. Los sintéticos contienen normalmente entre uno y tres tipos diferentes de unidades que se repiten, mientras que los naturales o biopolímeros como la celulosa, el ADN o las proteínas presentan estructuras

mucho más complejas. En la actualidad los polímeros sintéticos tienen, mayor interés desde el punto de vista comercial. (Hermida, 2011)

Los polímeros sintéticos conocidos como super- absorbentes por su alta capacidad de retención hídrica. Al hidratarse se gelifican formando partículas que retienen agua cientos de veces su peso seco. (Tittonell, De Grazia, & Chiesa, 2002)

Los polímeros super-absorbentes tienen varias aplicaciones en ingeniería y telecomunicaciones, se utilizan como recubrimiento de cables conductores y en el sellado de juntas de hormigón bajo el agua, entre estos está el gel de sílice. (Gómez Crespo & Cañamero Lancha, 2010)

- **Polímero super-absorbente (Gel de sílice)**

El gel de sílice (SiO_2), también conocido como silica gel, es una sustancia química de aspecto cristalino, amorfa, no tóxica, inodora, químicamente estable insoluble en agua y en casi cualquier otro solvente (excepto por el ácido hidrofúrico y medios acústicos con pH mayor de 10.5 no reacciona con algunas otras sustancias). Bajo diferentes métodos de fabricación, se consiguen diferentes tipos de gel de sílice/silica gel con diversas estructuras del poro, pudiendo llegar algunos a absorber hasta un 40% de su propio peso en agua. (Grupo Haiyang Yin Hai España S.L., 2018)



Figura 7 Frasco de Silica gel

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

3.1. Cerámica sanitaria reciclada

En esta investigación los residuos de cerámica sanitaria fueron utilizados para elaborar morteros sustituyendo a los agregados, cumpliendo con las características de una arena elaborada. Como se observa en la Tabla 6 la cerámica sanitaria pertenece a la industria de cerámica blanca, en la cual las materias primas minerales más importantes son caolín, feldespato, cuarzo, esteatitas, además, productos químicos como fritas, pigmentos para esmaltes (Pinto, 2011).

Tabla 6
Materias primas de la industria cerámica

| Industria | Productos más importantes | Materias primas minerales más importantes | Productos químicos más importantes |
|------------------------|---|--|---|
| Cerámica roja | Ladrillos, bloques, tejas. | Arcillas | |
| Cerámica blanca | Vajilla, sanitarios, porcelana eléctrica. | Caolín, feldespato, cuarzo, esteatitas. | Fritas, pigmentos para esmaltes. |
| Revestimientos | Pisos, azulejos | Arcillas, feldespatos, cuarzo. | Fritas, pigmentos para esmaltes. |
| Refractarios | Ladrillos de diversa composición, crisoles, hormigones. | Arcillas refractarias, magnesitas, cromitas, sillimanitas, cuarzo. | Carburo de silicio, alúmina calcinada, tubular. |

Fuente: (Pinto, 2011)

3.1.1. Principales materias primas de la cerámica sanitaria

A continuación se describen las principales materias primas de la cerámica sanitaria antes mencionadas.

3.1.1.1. Caolín

El caolín es una arcilla utilizada como materia prima en la fabricación de cerámica, la cual proporciona la blancura, transparencia y plasticidad para su moldeo. Las cerámicas sanitarias a base de caolín se cuecen a temperaturas muy altas que fluctúan entre 1200°C y 1400°C, la cocción de este tipo de cerámica provoca un menor consumo de energía y como consecuencia la disminución en la emisión de CO₂ (Zito, Irassar, & Rahhal, 2016).

3.1.1.2. Feldespato

Los feldespatos constituyen el 60% de las rocas ígneas de la corteza terrestre, se los utiliza principalmente en la industria de la cerámica y del vidrio, estos fundentes permiten bajar el punto de fusión y aumentan la compactación de la pasta a medida que la temperatura aumenta, además, permiten disminuir la porosidad en las piezas cerámicas (Narvaéz Padilla, 2012).

Los feldespatos formados por silicatos de aluminio con proporciones de sodio, calcio y/o potasio que se hallan en las pegmatitas, se encuentran en forma pura o mezclada en rocas magmáticas (Pinto, 2011).

Existen tres tipos de feldespatos que se utilizan como materias primas en la elaboración de cerámicas sanitarias como: feldespatos potásicos (Ortoclasa, microlina), sódicos (Albita) y cálcicos (Anortita) (Vásquez Malagón, 2005).

Los feldespatos potásicos están compuestos de óxidos de silicios, aluminio y principalmente de potasio, estos permiten que las piezas cerámicas no presenten deformaciones, debido a que forman una fase vítrea de alta viscosidad, mientras que en los feldespatos sódicos el punto de fusión inferior forma una fase vítrea menos viscosa con estrechos intervalos de fusión, lo que hace que exista la presencia de algunas deformaciones (Narvaéz Padilla, 2012).

En la Tabla 7 se observa la composición química de los feldespatos potásicos y sódicos y el porcentaje de óxido.

Tabla 7
Composiciones químicas de los feldespatos

| % de Óxido | Feldespatos potásicos | Feldespatos sódicos |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------------|
| SiO ₂ | 68,50 | 70,40 |
| Al ₂ O ₃ | 17,20 | 18,80 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,08 | 0,30 |
| TiO ₂ | 0,10 | 0,10 |
| CaO | 0,60 | 0,10 |
| MgO | 0,20 | 0,05 |
| K ₂ O | 9,80 | 2,50 |
| Na ₂ O | 3,10 | 7,50 |
| Pérdida de calcinación a 1000°C % | 0,40 | 0,40 |

Fuente: (Pinto, 2011)

Según Vásquez Malagón (2005) las aplicaciones de los feldespatos en la cerámica son:

- Como material desengrasante.
- Como fundente para disminuir la temperatura de quema y para aumentar la densidad de la pasta cerámica.

3.1.1.3. Cuarzo

Es un mineral de mayor abundancia en la corteza terrestre, este material disminuye la plasticidad de las masas cerámicas y su contracción en el periodo de secado. También permite controlar la porosidad y aumenta la velocidad de secado de las piezas moldeadas. En resumen la adición de cuarzo aumenta la blancura y la dilatación de los productos cocidos, reduce la contracción y la deformación en la fase de cocción (Hevia, 2012).

3.1.1.4. Esteatitas

Mineral también conocido como esquisto de talco (soapstone), utilizado en tiempos prehistóricos por su facilidad para el labrado, se usa como materia prima en la escultórica, también en la industria cerámica, pinturas, papel en piezas prefabricadas para la construcción. Además, posee baja dureza que le da su tacto graso y jabonoso (Rivera García, Ramírez Fernández, & Cruz Gámez, 2017).

3.1.2. Caracterización de la cerámica sanitaria reciclada

Este proyecto consistió en la elaboración de especímenes de morteros de fraguado rápido reemplazando el 100 % de los agregados con residuos de cerámica reciclada; además, se añadió en las dosificaciones de las pruebas un porcentaje de polímero super- absorbente (gel de sílice), como alternativas ecológicas para la construcción de mampostería.

3.1.3. Cerámica sanitaria triturada

Edesa realiza una inspección final de la cerámica sanitaria, en la que separa las piezas que presentan defectos que no puede ser reparados, las cerámicas sanitarias con fallas son trituradas manualmente, hasta alcanzar un tamaño adecuado del material (Narvaéz Padilla, 2012).



Figura 8 Piezas con defectos

Fuente: (Narvaéz Padilla, 2012)

Estos residuos son colocados en una máquina de triturado obteniendo un tamaño menor, posteriormente pasa por un proceso de tamizado en una malla ASTM N°3, obteniendo un tamaño de 6.7 mm y finalmente este material es almacenado en forma de pila en lugares cubiertos para evitar que tengan contacto con la lluvia y evitando la afectación en la superficie del material (Narvaéz Padilla, 2012).



Figura 9 Muestreo cerámica sanitaria triturada

En este estudio se realizaron ensayos de laboratorio en los que se obtuvo la caracterización de los residuos de cerámica sanitaria, aplicando normas vigentes.

Se realizaron los siguientes análisis:

Tabla 8

Resumen de normas a utilizar

| NORMA | PARÁMETRO |
|----------------------------|---|
| ASTM D75 (NTE INEN 695) | Muestreo |
| ASTM C702 (NTE INEN 2 566) | Reducción de la muestra por cuarteo |
| ASTM C136 (NTE INEN 696) | Granulometría en los áridos fino y grueso |
| ASTM C127 (NTE INEN 856), | Gravedad específica y absorción del agregado fino |
| ASTM C566 (NTE INEN 862). | Contenido de humedad de los agregados |
| ASTM C1358 (NTE INEN 858) | Masa unitaria (Peso volumétrico) |

3.1.4. Muestreo. NTE INEN 695

La muestra de árido que se usó en este proyecto, fue de cerámica sanitaria triturada que se obtuvo de pilas en hangares de almacenamiento de rotura en la empresa de cerámica sanitaria Edesa del sur de la ciudad de Quito, ubicada en la Av. Morán Valverde y Av. Teniente Hugo Ortiz.

Para la esta investigación se utilizó el siguiente procedimiento.

Se tomaron 10 sacos de muestra con un peso aproximado de 50kg cada una de ellas de la parte superior, media e inferior de la pila de almacenamiento del material, con esto se genera una

mezcla uniforme, permitiendo que los resultados de los ensayos de laboratorio tengan mayor confiabilidad en sus resultados. (NTE INEN 695, 2010)

3.1.5. Reducción de la muestra por cuarteo NTE INEN 2 566

Para realizar el ensayo según la norma NTE INEN 2 566 (2010) se efectuó una reducción en el tamaño de las muestras, mezclando de forma aleatoria 5 sacos de cerámica sanitaria triturada, según el método B (cuarteo). Se colocó la muestra original sobre un plástico en una superficie firme, limpia, seca y nivelada, se mezcló más de tres veces volteándola, en la última vuelta se procedió a formar una pila cónica, se aplanó presionando la punta con la pala, hasta obtener un espesor y diámetro uniforme, aproximadamente puede ser de cuatro a ocho veces el espesor, posteriormente, se dividió el material aplanado en cuatro cuartos iguales y se retiró dos cuartos opuestos en forma diagonal y los restantes se procedió a utilizar en los ensayos requeridos.



Figura 10 Cuarteo de la muestra de cerámica sanitaria triturada

3.1.6. Granulometría de áridos NTE INEN 2 536, NTE INEN 696

Este método de ensayo se utilizó para establecer la distribución granulométrica de las partículas de áridos finos mediante tamizado. Los resultados de la granulometría se utilizaron para determinar si el árido cumple con las especificaciones para ser usado en mortero para mampostería. En este ensayo las partículas de una muestra en estado seco son separadas por tamaño mediante un proceso a través de una serie de tamices colocados en forma descendente (NTE INEN 696, 2011).

3.1.6.1. Equipo

Para realizar este ensayo se necesitó una balanza con una precisión de 0.1g, tamices con diferentes aberturas los cuales deben ser montados sobre marcos para de esta forma evitar perdida

de muestra (Tamices N° 8, 16, 30, 50, 100, 200), un dispositivo de tamizado mecánico y un horno que sea capaz de mantener un temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (NTE INEN 696, 2011).



Figura 11 Tamizadora eléctrica y tamices

3.1.6.2. Materiales

El tamaño de la muestra en estado seco debe ser mínimo 300 g. La muestra que se utilizó en mortero para mampostería, debe estar graduado de acuerdo a los límites que se encuentran en la Tabla 9.

Tabla 9

Límites granulométricos del árido para uso en mortero para mampostería

| Tamiz | Porcentaje pasante | |
|----------------------------|--------------------|-----------------|
| | Arena natural | Arena elaborada |
| 4,75 mm (No. 4) | 100 | 100 |
| 2,36 mm (No. 8) | 95 a 100 | 95 a 100 |
| 1,18 mm (No. 16) | 70 a 100 | 70 a 100 |
| 600 μm (No. 30) | 40 a 75 | 40 a 75 |
| 300 μm (No. 50) | 10 a 35 | 20 a 40 |

| | | |
|-----------------------------|--------|---------|
| 150 μm (No. 100) | 2 a 15 | 10 a 25 |
| 75 μm (No. 200) | 0 a 5 | 0 a 10 |

Fuente: (NTE INEN 2 536, 2010)

Al realizar el tamizado en ningún tamiz debe haber más del 50% de retenido, así como también en los tamices No 50 y 100 no debe haber más del 25% de retenido (NTE INEN 2 536, 2010).



Figura 12 Muestra de material para granulometría

3.1.6.3. Procedimiento

Para determinar la granulometría del árido se realizó el siguiente procedimiento:

- Secar la muestra a una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Seleccionar los tamices que cumplan con el criterio de conformidad de acuerdo a los requisitos del material y colocarlos en forma descendente.
- Colocar una cantidad limitada de material con el fin de que las partículas pueden pasar por las aberturas.
- Determinar la masa que se retiene en cada tamiz. Sumar la cantidad de material retenido y verificar que sea similar a la masa de árido inicial, si las masas difieren en más del 0.3%, los resultados no deben ser utilizados (NTE INEN 696, 2011).

3.1.6.4. Granulometría de residuos de cerámica sanitaria triturada para mortero

Las curvas granulométricas se usan para comparar diferentes tipos de suelos. Mediante estas curvas se pudo encontrar tres parámetros que se usaron para clasificar la muestra (Das, 2001). Estos parámetros son:

- Diámetro efectivo
- Coeficiente de uniformidad
- Coeficiente de curvatura

El coeficiente de uniformidad se determinó con la siguiente relación:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Donde:

C_u : Coeficiente de uniformidad

D_{60} : Diámetro correspondiente al 60% de finos en la curva de distribución granulométrica

D_{10} : Diámetro correspondiente al 10% de finos en la curva de distribución granulométrica o diámetro efectivo

El coeficiente de curvatura se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}} \quad (2)$$

Donde:

C_z : Coeficiente de curvatura

D_{30} : Diámetro correspondiente al 30% de finos

En la Figura 13 se muestra los diferentes tipos de curvas granulométricas. La curva I muestra un suelo mal graduado debido a que la mayoría de los granos son del mismo tamaño. La curva II muestra que los tamaños de las partículas están distribuidos en un rango amplio por lo que se denomina bien graduado. Un suelo bien graduado tiene un coeficiente de uniformidad mayor a 4 para gravas y 6 para arenas, y un coeficiente de curvatura entre 1 y 3 tanto para grava como para arenas. La curva III representa una granulometría discontinua (Das, 2001).

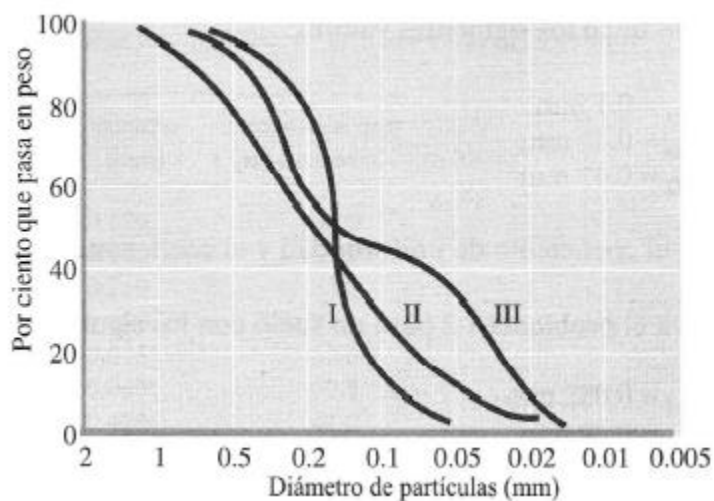


Figura 13 Tipos diferentes de curvas granulométricas

Fuente (Das, 2001)

- **Muestra 1**

Al observar la curva granulométrica (ver, Figura 14) se definió que al elaborar una arena con estas proporciones se va a obtener un material dentro de los límites establecidos por la norma NTE INEN 2 536 (2010), por lo tanto, se realizó una muestra con tales masas para después hacer

dos tamizados en las cuales se podrá verificar si el material con la granulometría presentada cumple con las especificaciones de una arena elaborada.

- Coeficiente de uniformidad

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_u = \frac{0,63}{0,1}$$

$$C_u = 6,3$$

- Coeficiente de curvatura

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

$$C_z = \frac{0,3^2}{0,63 \times 0,1}$$

$$C_z = 1,43$$

En la Figura 14 se observó que se tiene una curva granulométrica de tipo II, con lo que se determinó que la muestra de cerámica sanitaria reciclada está bien graduada, esto se confirmó con los valores del coeficiente de uniformidad y curvatura debido a que el C_u tiene un valor mayor a 6 y el C_z dio un valor de 1.43 dando así como resultado un árido bien graduado.

Tabla 10

Ensayo Granulométrico de la muestra 1

| TAMICES | PESO RETENIDO (g) | RETENIDO ACUMULADO | % RETENIDO ACUMULADO | % ACUMULADO PASA TOTAL |
|---------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
|---------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|

| | | | | |
|--|---------------|--------|-----|-----|
| 3/8" (9.5mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 4 (4,76 mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 8 (2,36 mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 16(1,18 mm) | 87,92 | 87,92 | 15 | 85 |
| No. 30(0,6 mm) | 161,18 | 249,10 | 43 | 57 |
| No. 50(0,30mm) | 161,18 | 410,28 | 70 | 30 |
| No. 100(0,15 mm) | 73,26 | 483,54 | 82 | 18 |
| No. 200(0,075 mm) | 73,26 | 556,80 | 95 | 5 |
| Pas.No. 200 | 29,31 | 586,11 | 100 | 0 |
| PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g) | 586,20 | | | |

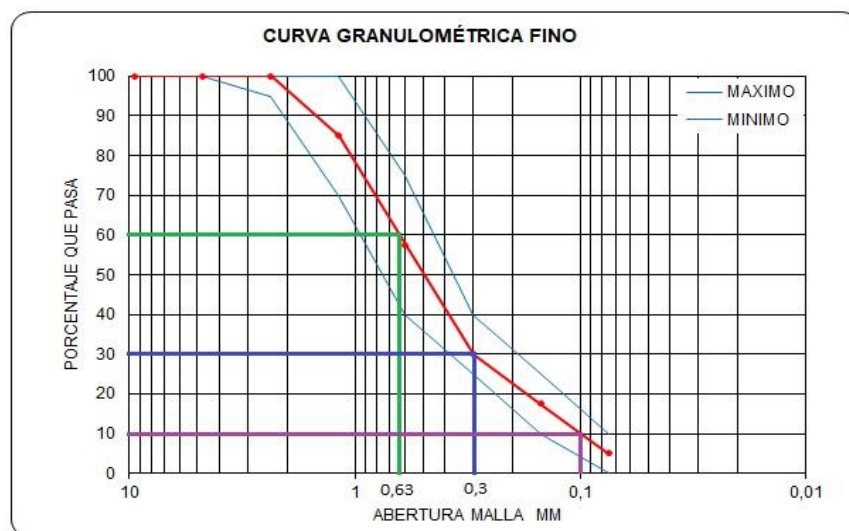


Figura 14 Curva granulométrica de la muestra 1

- **Muestra 2**

En la Figura 15 se puede observar claramente que la arena elaborada al pasar por el ensayo granulométrico una vez, si cumple con los límites establecidos, esto quiere decir que no presenta ningún problema, por lo que no será necesario realizar una corrección, para corroborar estos datos se procedió a realizar un segundo ensayo de granulometría.

- **Coefficiente de uniformidad**

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_u = 6,09$$

- Coeficiente de curvatura

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

$$C_z = 1,25$$

Mediante los resultados obtenidos se pudo definir que la arena elaborada está bien graduada debido a que el coeficiente de uniformidad tiene un valor de 6.09 y el valor del coeficiente de curvatura se encuentra entre 1 y 3.

Tabla 11

Ensayo granulométrico de la muestra 2

| TAMICES | PESO RETENIDO (g) | RETENIDO ACUMULADO | % RETENIDO ACUMULADO | % ACUMULADO PASA TOTAL |
|--|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 3/8" (9.5mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 4 (4,76 mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 8 (2,36 mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 16(1,18 mm) | 86,80 | 86,80 | 15 | 85 |
| No. 30(0,6 mm) | 161,90 | 248,70 | 43 | 57 |
| No. 50(0,30mm) | 153,90 | 402,60 | 69 | 31 |
| No. 100(0,15 mm) | 85,70 | 488,30 | 84 | 16 |
| No. 200(0,075 mm) | 79,20 | 567,50 | 97 | 3 |
| Pas.No. 200 | 16,80 | 584,30 | 100 | 0 |
| PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g) | | | 586,20 | |

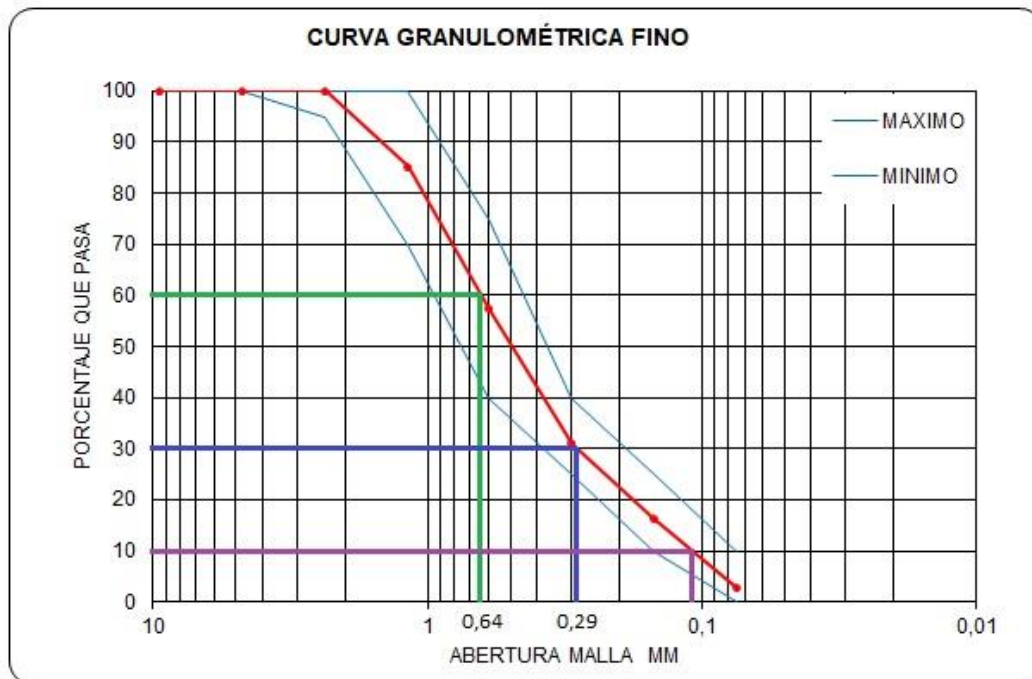


Figura 15 Curva granulométrica de la muestra 2

- **Muestra 3**

En la segunda pasada por el ensayo de granulometría se determinó que la arena elaborada no presenta ningún problema, puesto que se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma, por este motivo se definió el utilizar la granulometría de la Tabla 10 para realizar todos los ensayos y procesos de la presente investigación.

- Coeficiente de uniformidad

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_u = 6.00$$

- Coeficiente de curvatura

$$C_z = \frac{D_{30}^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

$$C_z = 1,32$$

Tabla 12*Ensayo granulométrico de la muestra 3*

| TAMICES | PESO RETENIDO (g) | RETENIDO ACUMULADO | % RETENIDO ACUMULADO | % ACUMULADO PASA TOTAL |
|--|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 3/8" (9.5mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 4 (4,76 mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 8 (2,36 mm) | 0,00 | 0,00 | 0 | 100 |
| No. 16(1,18 mm) | 87,30 | 87,30 | 15 | 85 |
| No. 30(0,6 mm) | 159,90 | 247,20 | 42 | 58 |
| No. 50(0,30mm) | 157,60 | 404,80 | 69 | 31 |
| No. 100(0,15 mm) | 83,30 | 488,10 | 84 | 16 |
| No. 200(0,075 mm) | 80,10 | 568,20 | 97 | 3 |
| Pas.No. 200 | 15,00 | 583,20 | 100 | 0 |
| PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g) | | | 586,20 | |

Según Das (2001) para tener un árido bien graduado el coeficiente de uniformidad para una arena debe ser mayor a 6, en este caso se tiene un valor de 6, mientras que el coeficiente de curvatura debe estar en un rango de 1 a 3, para esta muestra si se cumple debido a que se tiene un valor de 1.32, en la Figura 16 se puede observar que la curva granulométrica es de tipo II, por lo tanto, con estos resultados se determinó que la cerámica sanitaria reciclado está bien graduada.

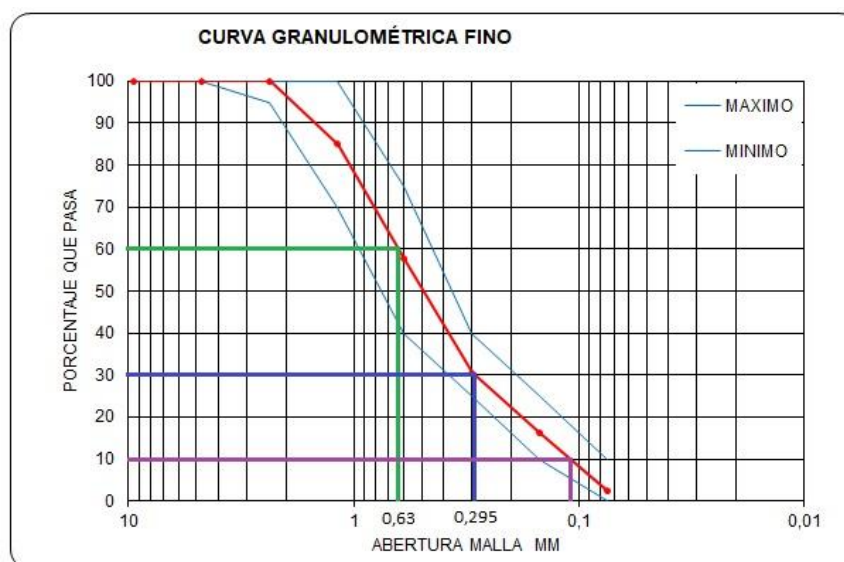


Figura 16 Curva granulométrica de la muestra 3

En la Tabla 13 se puede observar que las tres muestras de cerámica sanitaria reciclada están bien graduadas, debido a que el C_u y C_z cumplen con los rangos establecidos según (Das, 2001).

Tabla 13

Parámetros para clasificar la muestra de cerámica

| Muestra N° | Coefficiente de uniformidad C_u | Coefficiente de curvatura C_z |
|------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 6,30 | 1,43 |
| 2 | 6,09 | 1,25 |
| 3 | 6,00 | 1,32 |

3.1.7. Determinación de la densidad y absorción para agregados finos NTE INEN 856

Esta norma determina tres características: la densidad promedio, la densidad relativa del árido fino que se utiliza para el cálculo del volumen que ocupa el árido en una mezcla, y la absorción del mismo, que es el incremento de la masa del árido debido a la penetración de agua

en los poros de las partículas en un tiempo determinado, tomando en cuenta el agua adherida a la superficie de las partículas (NTE INEN 856, 2010).

3.1.7.1. Equipo

Para el desarrollo del ensayo se utilizó una balanza con sensibilidad de 0.1g y 0.1% de precisión, un picnómetro en el que el volumen sea legible dentro de $\pm 0.1\text{cm}^3$ con una capacidad de 500 cm^3 , un agitador mecánico que permite eliminar el aire y finalmente un horno con una temperatura de $110^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ (NTE INEN 856, 2010).

3.1.7.2. Materiales

Los materiales que se usaron para este ensayo son 2 muestras de árido fino saturado superficialmente seco (cerámica triturada) cada una con un peso de 500g.

3.1.7.3. Procedimiento

El procedimiento que se siguió según la norma NTE INEN 856 (2010) es el descrito a continuación:

- Sumergir en agua una muestra de árido previamente seca por $24\text{ h} \pm 4\text{ h}$, con el propósito de llenar sus poros.
- Retirar la muestra del agua, luego quitar el exceso.
- Colocar sobre una superficie no absorbente y totalmente plana, revolver el material hasta obtener una muestra en condición saturada superficialmente seca.
- Colocar el agua en el picnómetro hasta llenarlo, pesar y luego vaciarlo.
- Introducir la muestra de cerámica triturada saturado superficialmente seca con un peso de 500g en el picnómetro.

- Llenar el picnómetro con agua sobre el nivel de la muestra.
- Agitar el picnómetro manualmente para eliminar las burbujas.
- Eliminar las burbujas restantes mediante el uso de una bomba de vacío para extraer todo el aire.
- Colocar agua hasta la marca de calibración.
- Pesar el picnómetro con el agua y la muestra sin burbujas.
- Determinar la masa seca de la muestra de 500g del árido saturado superficialmente seco y posteriormente establecer el porcentaje de absorción del material.



Figura 17 Picnómetro vacío y con agua



Figura 18 Bomba de vacío y picnómetro con cerámica y agua

3.1.7.4. Resultados

En la Tabla 14 se muestra el cálculo que se realizó a dos muestras de arena elaborada de cerámica sanitaria triturada; con las que se obtuvo los siguientes resultados: 2.467 g/cm³ y 2.466 g/cm³ en densidad específica y 0.8% y 0.6% en absorción con un promedio de 0.7%. Por lo tanto, se concluyó que la cerámica sanitaria triturada presenta una baja absorción de agua, lo que implica que no afectará a la mezcla la cantidad de agua que puede absorber el material.

Tabla 14

Densidad y absorción del agregado fino (cerámica sanitaria triturada) según NTE INEN 856

| Nomenclatura | Descripción | Unidad | Muestra 1 | Muestra 2 |
|--|--|----------------------|--------------|--------------|
| A | Masa de la muestra saturada con superficie seca | (g) | 500,5 | 500,4 |
| C | Masa de la muestra seca al horno | (g) | 496,6 | 497,2 |
| D | Masa del picnómetro lleno con agua | (g) | 645,0 | 644,8 |
| E | Masa del picnómetro lleno con muestra y agua | (g) | 940,3 | 940,4 |
| G | Peso específico del agua a la temperatura que se realizó el ensayo | (g/cm ³) | 0,99999 | 0,99999 |
| (C/C+D-E)*g | Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) | (g/cm ³) | 2,467 | 2,466 |
| Promedio gravedad específica aparente | | (g/cm ³) | 2,467 | |
| (A/A+D-E)*g | Densidad relativa (gravedad específica)(SSS) | (g/cm ³) | 2,439 | 2,443 |
| (C/A+D-E)*g | Densidad relativa (gravedad específica) | (g/cm ³) | 2,420 | 2,428 |
| (A-C/C)*100 | Absorción de agua | (%) | 0,8 | 0,6 |
| Promedio absorción de agua | | (%) | 0,7 | |

3.1.8. Determinación de humedad de áridos para hormigón NTE INEN 862

Este ensayo permite determinar el porcentaje de humedad evaporable por secado en una muestra de árido, tanto el correspondiente a la humedad superficial, como la humedad contenida en los poros del árido (NTE INEN 862, 2011).

3.1.8.1. Equipo

El equipo que se utilizó en este ensayo es: una balanza con una precisión de 0.1% de la diferencia entre las masas, un horno capaz de mantener una temperatura de $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, recipientes que no sean afectados por el calor y una espátula de metal (NTE INEN 862, 2011).



Figura 19 Horno



Figura 20 Balanza electrónica digital

3.1.8.2. Materiales

Muestra de árido representativo del contenido de humedad.



Figura 21 Muestra de árido húmedo

3.1.8.3. Procedimiento

El procedimiento que se siguió según la norma NTE INEN 862 (2011) es el descrito a continuación:

- Determinar la masa de la muestra húmeda más la tara.
- Colocar la muestra en el horno en recipientes que no se dañen fácilmente en el calor.
- Sacar la muestra del horno cuando esté completamente seca.
- Tomar la masa de la muestra seca.
- Calcular el porcentaje de humedad.

3.1.8.4. Cálculo

$$P = \frac{W - D}{D} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

P: contenido total de humedad evaporables de la muestra, porcentaje,

W: masa de la muestra húmeda

D: masa de la muestra seca

3.1.8.5. Resultados

El resultado que nos proporciona este ensayo es de 0.13% de porcentaje de humedad y para que los resultados sean más confiables se realizó 5 muestras de los cuales se hizo un promedio (ver, Tabla 15). El porcentaje de humedad es la propiedad que nos ayuda a controlar el agua total de la mezcla por lo que se definió que no es necesario aumentar agua debido a que este porcentaje es muy bajo.

Tabla 15
Porcentaje de humedad del árido

| Muestra | Fino | | | | |
|--|-------------|-------|-------|-------|-------|
| Recipiente | P06 | A3 | 82 | 23 | 50 |
| Peso del recipiente (g) | 13,90 | 14,10 | 13,60 | 13,40 | 14,30 |
| Peso del recipiente + muestra húmeda (g) | 78,60 | 72,00 | 87,70 | 92,60 | 80,80 |
| Peso del recipiente + muestra seca (g) | 78,60 | 71,80 | 87,60 | 92,60 | 80,70 |
| Peso del agua (g) | 0,00 | 0,20 | 0,10 | 0,00 | 0,10 |
| Peso seco (g) | 64,70 | 57,70 | 74,00 | 79,20 | 66,40 |
| % Agua | 0,00 | 0,35 | 0,14 | 0,00 | 0,15 |
| % Agua media | 0,13 | | | | |



Figura 22 Muestra seca

3.1.9. Determinación de la masa unitaria (Peso volumétrico) NTE INEN 858

Este método de ensayo se utiliza para determinar los valores de masa unitaria (peso volumétrico), que son necesarios para realizar la dosificación de mezclas. Este valor también es utilizado para la determinación de la relación masa / volumen, para las conversiones en la compra de áridos (NTE INEN 858, 2010).

3.1.9.1. Equipo

Para realizar este ensayo se necesitó una balanza con una precisión de 0.1%, con graduaciones de al menos 0.05 kg, una varilla de compactación recta, lisa, de acero con diámetro de 16 mm y una longitud aproximadamente de 600 mm, con los extremos redondeados, un molde cilíndrico de metal que cumpla con los límites establecidos en la Tabla 16 (NTE INEN 858, 2010).

Tabla 16
Capacidad de los moldes

| Tamaño máximo nominal del árido mm | Capacidad nominal del molde m ³ [litros] |
|---------------------------------------|--|
| 12,5 | 0,0028 [2,8] |
| 25,0 | 0,0093 [9,3] |
| 37,5 | 0,014 [14] |
| 75,0 | 0,028 [28] |
| 100,0 | 0,070 [70] |
| 125,0 | 0,100 [100] |

A

Capacidad del molde a utilizar para ensayar áridos de un tamaño máximo nominal igual o menor que el correspondiente en la lista. El volumen real del molde debe ser de al menos el 95% del volumen nominal indicado.

Fuente: (NTE INEN 858, 2010)

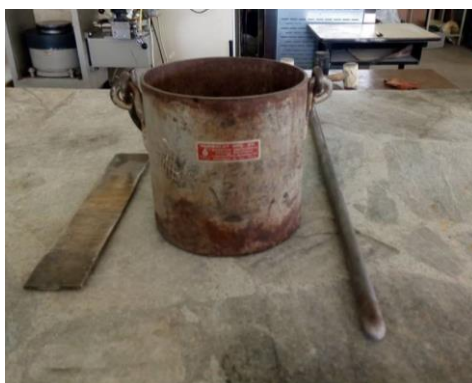


Figura 23 Balde metálico, enrasado, varilla punta redonda

3.1.9.2. Procedimiento

El procedimiento que se siguió según la norma NTE INEN 858 (2010) es el descrito a continuación:

- Llenar la tercera parte del molde y compactar con 25 golpes de la varilla de compactación. Llenar los dos tercios del molde y compactar de la forma indicada

anteriormente. Por último, llenar el molde y compactar nuevamente. Nivelar la superficie con los dedos o una regleta.

- Compactar la primera capa, teniendo en cuenta que no se debe permitir golpear el fondo del molde, para la segunda y tercera capa se debe compactar vigorosamente evitando que la varilla de compactación penetre la capa anterior.
- Finalmente, se debe calcular la masa unitaria (peso volumétrico).

3.1.9.3. Resultados

La arena elaborada con residuos de cerámica sanitaria utilizada en esta investigación presentó una masa unitaria suelta de 1.382 g/cm³ y compactada de 1.529 g/cm³ (ver, Tabla 17)

Tabla 17

Peso volumétrico suelto y varillado de la cerámica sanitaria reciclada

| | Peso volumétrico suelto | | Peso volumétrico varillado | |
|---|-------------------------|--------|----------------------------|--------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Molde No. | | | | |
| Peso del molde (g) | 2627,4 | 2627,4 | 2627,4 | 2627,4 |
| Peso molde +suelo (g) | 6526,8 | 6637,4 | 7036,6 | 6967,3 |
| Peso suelo (g) | 3899,4 | 4010 | 4409,2 | 4339,9 |
| Volumen (cm³) | 2861 | 2861 | 2861 | 2861 |
| Densidad suelta (g/cm³) | 1,363 | 1,402 | 1,541 | 1,517 |
| Media | 1,382 | | 1,529 | |



Figura 24 Peso suelto de la muestra y varillado



Figura 25 Enrazado y peso de la muestra varillado

3.1.10. Composición química (EDS)

Este estudio se realizó para determinar la composición elemental porcentual de la cerámica sanitaria reciclada. En el ensayo de EDS se tomó en cuenta los siguientes elementos químicos O, Na, Mg, Al, Si, K, Ca, Ti, Fe (ver, Figura 26).

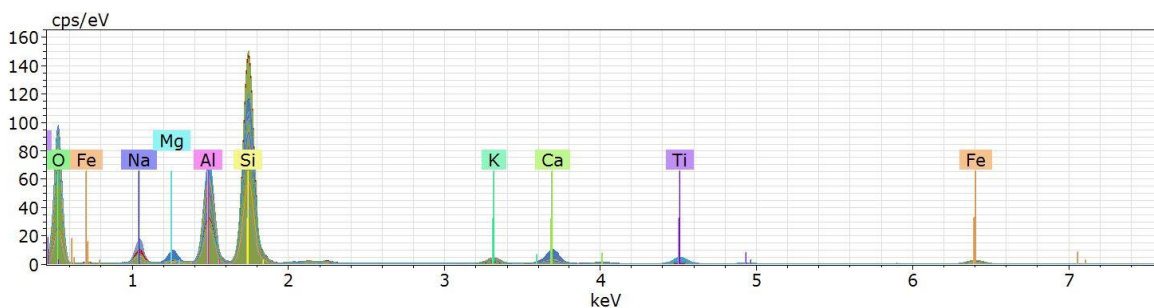


Figura 26 Análisis EDS de la muestra de cerámica sanitaria reciclada

Debido a que la muestra no presenta homogeneidad, se realizó el análisis de 20 puntos en un área de 350 μm x 350 μm de los cuales se obtuvo el porcentaje promedio y la desviación estándar. Los resultados se pueden observar en la Tabla 18.

Tabla 18

Análisis EDX de la muestra de cerámica sanitaria reciclada en promedio del porcentaje en peso (wt. %)

| Cuantificación de Resultados | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Espectro | O | Na | Mg | Al | Si | K | Ca | Ti | Fe |
| Cerámica Sanitaria | 59,19 | 1,90 | 0,75 | 16,50 | 19,56 | 0,48 | 0,22 | 0,17 | 1,25 |
| Cerámica Sanitaria | 50,59 | 1,95 | 0,77 | 20,72 | 22,40 | 1,25 | 0,58 | 0,17 | 1,57 |
| Cerámica Sanitaria | 49,76 | 2,55 | 0,54 | 17,04 | 24,95 | 2,01 | 0,92 | 0,63 | 1,59 |
| Cerámica Sanitaria | 57,94 | 3,29 | 0,56 | 14,57 | 21,04 | 1,19 | 0,45 | 0,23 | 0,73 |
| Cerámica Sanitaria | 58,85 | 3,26 | 1,32 | 9,44 | 21,98 | 0,53 | 3,83 | 0,18 | 0,62 |
| Cerámica Sanitaria | 58,12 | 2,97 | 0,77 | 12,75 | 20,98 | 1,20 | 2,24 | 0,24 | 0,71 |
| Cerámica Sanitaria | 60,51 | 1,57 | 0,49 | 7,69 | 28,28 | 0,46 | 0,26 | 0,25 | 0,49 |
| Cerámica Sanitaria | 59,26 | 3,98 | 0,55 | 7,84 | 27,07 | 0,34 | 0,26 | 0,09 | 0,60 |
| Cerámica Sanitaria | 51,78 | 2,23 | 0,56 | 17,46 | 24,26 | 1,61 | 0,79 | 0,33 | 0,98 |
| Cerámica Sanitaria | 57,66 | 1,93 | 0,71 | 11,59 | 25,33 | 1,27 | 0,49 | 0,32 | 0,70 |
| Cerámica Sanitaria | 57,18 | 2,87 | 0,60 | 14,68 | 21,49 | 0,44 | 0,52 | 0,17 | 2,03 |
| Cerámica Sanitaria | 54,70 | 7,71 | 0,62 | 11,87 | 23,16 | 0,49 | 1,00 | 0,13 | 0,31 |
| Cerámica Sanitaria | 49,70 | 2,44 | 0,60 | 13,92 | 27,54 | 2,27 | 2,10 | 0,28 | 1,16 |
| Cerámica Sanitaria | 59,30 | 1,62 | 2,49 | 14,57 | 19,99 | 0,46 | 0,40 | 0,31 | 0,85 |
| Cerámica Sanitaria | 57,60 | 4,63 | 0,62 | 14,55 | 20,46 | 0,86 | 0,34 | 0,17 | 0,77 |
| Cerámica Sanitaria | 54,17 | 1,99 | 0,68 | 16,08 | 23,97 | 1,07 | 0,39 | 0,32 | 1,33 |
| Cerámica Sanitaria | 56,36 | 4,34 | 0,45 | 14,11 | 23,28 | 0,28 | 0,43 | 0,16 | 0,59 |
| Cerámica Sanitaria | 42,33 | 1,36 | 0,51 | 19,75 | 30,54 | 2,07 | 0,64 | 0,78 | 2,02 |
| Cerámica Sanitaria | 56,96 | 3,51 | 0,59 | 12,98 | 20,95 | 1,04 | 0,49 | 2,77 | 0,72 |

CONTINUÍA



| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|------|
| Cerámica Sanitaria | 59,22 | 2,19 | 0,62 | 13,02 | 21,96 | 0,87 | 0,67 | 0,36 | 1,09 |
| Valor medio: | 55,56 | 2,92 | 0,74 | 14,06 | 23,46 | 1,01 | 0,85 | 0,40 | 1,01 |
| Desviación Estándar: | 4,59 | 1,47 | 0,45 | 3,43 | 3,02 | 0,61 | 0,89 | 0,58 | 0,49 |
| Desviación Estándar significa: | 1,03 | 0,33 | 0,10 | 0,77 | 0,68 | 0,14 | 0,20 | 0,13 | 0,11 |

Mediante este estudio se determinó que la muestra de cerámica sanitaria reciclada presentó un porcentaje de 55.56% de O, seguida de un porcentaje de 23.46% y 14.06% de Si y Al respectivamente.

3.1.11. Difracción de rayos X (XRD)

El equipo que se utilizó para realizar el ensayo XRD es el siguiente:



Figura 27 Equipo para ensayo XRD

El análisis del difractograma se realizó sobre el promedio de seis mediciones entre los ángulos 5° a 90° (Θ - 2Θ).

En la Figura 28 se observa un patrón de difracción de rayos X de la muestra de cerámica sanitaria por lo que definió que tiene una estructura cristalina debido a que el diagrama presenta una serie de picos.

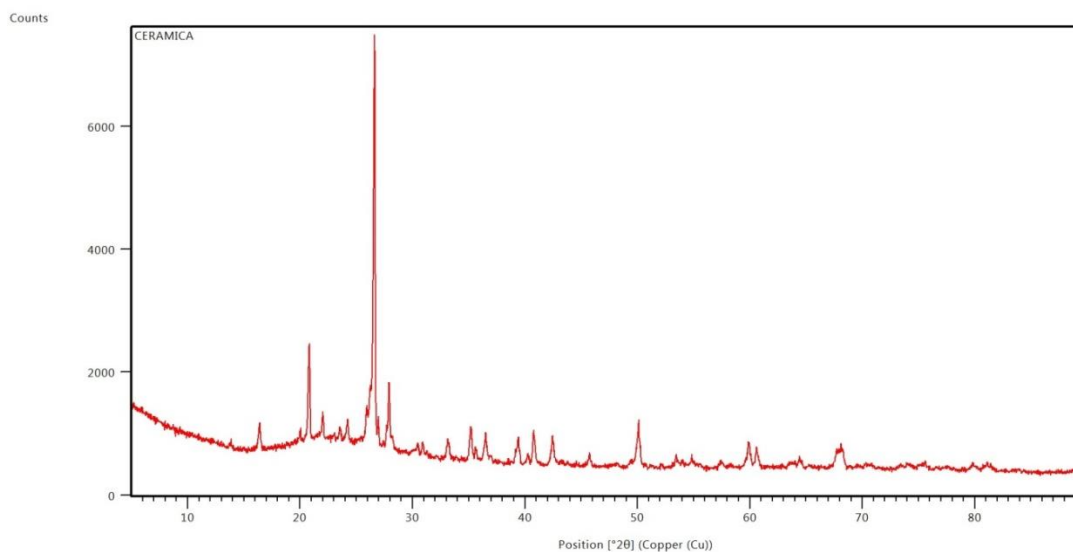


Figura 28 Patrón de difracción de rayos x de la cerámica sanitaria reciclada

3.2. Cemento

3.2.1. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat según NTE INEN 157

3.2.1.1. Equipo

Para determinar la consistencia por el método de Vicat se utilizó: una balanza, una espátula plana, aparato de Vicat (ver, Figura 29), un anillo de material no corrosivo, no absorbente, con diámetros interiores de 70 mm en la base y 60 mm en la parte superior, con una altura de 40 mm.



Figura 29 Aparato Vicat para el ensayo de consistencia normal del cemento

3.2.1.2. Procedimiento

Se preparó la pasta de cemento de acuerdo a la norma NTE INEN 155 (2009).

El moldeo del espécimen de ensayo se realizó según la norma NTE INEN 157 (2009) de la siguiente manera:

- Con las manos enguantadas elaborar una bola de la pasta de cemento.
- Lanzar 6 veces la bola de una mano a otra con una separación aproximadamente de 15 cm.
- Presionar la bola en el extremo más ancho del anillo, llenándolo completamente con la pasta.
- Retirar el exceso del extremo más ancho con la palma de la mano una sola vez.
- Colocar el lado más ancho sobre la placa no absorbente.
- Cortar con la espátula el exceso de pasta del extremo superior.
- Alisar la superficie en el caso de ser necesario sin aplastar la pasta.

La consistencia se determinó con el siguiente procedimiento:

- Centrar la pasta confinada en el anillo sobre la placa.
- Poner el penetrador en contacto con la superficie de la pasta y ajustar el tornillo.
- Colocar el indicador móvil en la marca cero de la parte superior de la escala.
- Aflojar el tornillo para que la varilla baje, este procedimiento no debe exceder los 30 segundos.

- Realizar varias mezclas con diferentes porcentajes de agua, hasta obtener la consistencia normal.
- Procesar los datos y calcular la consistencia.

3.2.1.3. Cálculos

La cantidad de agua necesaria para la consistencia normal se determinó, mediante la siguiente ecuación:

$$C(\%) = \frac{m_a}{m_c} \times 100 \quad (4)$$

Donde:

C : Consistencia normal, en %

m_a : Masa del agua, en g

m_c : Masa del cemento en g.

3.2.1.4. Resultados

Según la norma NTE INEN 157 (2009) la consistencia normal se obtiene cuando la aguja penetra $10\text{mm} \pm 1\text{mm}$, por lo tanto, la cantidad de agua que se utilizó para realizar el ensayo de fraguado es de 200g con una penetración de 9.5mm.

Tabla 19

Cantidad de agua para consistencia

| Muestra N° | Penetración (mm) | ma (g) | mc (g) | Consistencia (%) |
|---------------|---------------------|-----------|-----------|---------------------|
| 1 | 33,5 | 250 | 650 | 38,46 |
| 2 | 9,5 | 200 | 650 | 30,77 |



Figura 30 Moldeo de espécimen



Figura 31 Consistencia muestra 1 y 2

3.2.2. Determinación del tiempo de fraguado. Método de Vicat NTE INEN 158

3.2.2.1. Equipo

Según la norma NTE INEN 157 (2009), para determinar la consistencia del cemento hidráulico se utilizó: una balanza, una máquina mezcladora con tazón y paleta, una espátula pequeña plana de 10 a 15 cm de longitud, aparato automático de aguja Vicat, plato o placa plana no absorbente, un anillo de material no corrosivo cuyos diámetros interiores sean, en la parte superior de $6\text{cm} \pm 0.3\text{cm}$ y en la parte inferior $7\text{cm} \pm 0.3\text{cm}$ y $4\text{cm} \pm 0.1\text{cm}$ de altura del anillo.

3.2.2.2. Procedimiento

Se preparó la pasta de cemento y el moldeo del espécimen de ensayo de acuerdo a la norma NTE INEN 155 (2009), una vez obtenida la consistencia normal del cemento.

El tiempo de fraguado se determinó según la norma NTE INEN 158 (2009).

- Dejar reposar el espécimen después de ser moldeado durante 30 minutos.
- Programar el aparato Vicatronix con la temperatura, humedad, y los periodos a los que se realizan las penetraciones, tipo del ensayo mediante norma ASTM.
- Determinar la penetración de la aguja de 0.1 cm en ese momento y en adelante cada 15 minutos hasta obtener una penetración de 2.5cm o menos.
- Esperar la realización del ensayo en el aparato automático Vicat.
- Imprimir los datos.
- Procesar lo datos y sacar un promedio de los tiempos de fraguado inicial para las dos muestras con los diferentes tamaños de partículas de sílice.

3.2.2.3. Cálculo

Para determinar el tiempo de fraguado inicial y final se utilizó las fórmulas de la norma (NTE INEN 158, 2009).

- Tiempo de fraguado inicial método Vicat:

$$\left(\left(\frac{(H - E)}{(C - D)} \right) x (C - 25) \right) + E \quad (5)$$

H: Tiempo en minutos de la última penetración mayor a 25 mm.

E: Tiempo en minutos de la última penetración menor a 25 mm.

C: Lectura de penetración del tiempo E.

D: Lectura de penetración del tiempo H.

- Tiempo fraguado final

Según la norma NTE INEN 158 (2009), el tiempo de fraguado final se calcula mediante la determinación del tiempo transcurrido entre el tiempo inicial de contacto entre el agua y el cemento y el tiempo en que el agua marca visiblemente la pasta con una aproximación de 5 minutos.

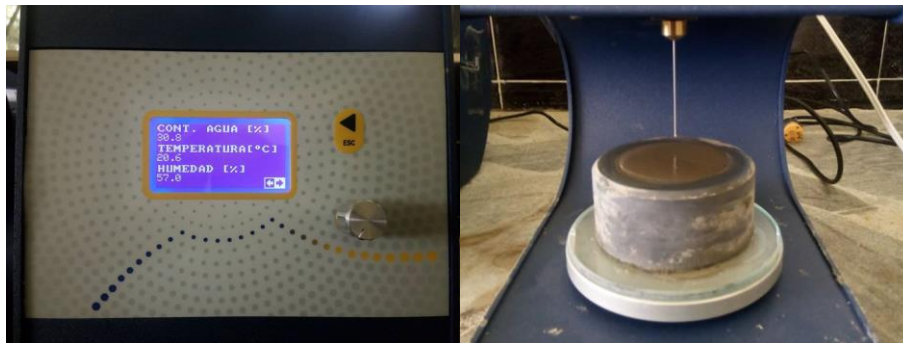


Figura 32 Ensayo para determinar el tiempo de fraguado. Método Vicat (Vicatronix)



Figura 33 Muestras ensayadas para determinar el tiempo de fraguado

3.2.2.4. Resultados

En el ensayo de determinación del tiempo de fraguado inicial y final del cemento se obtuvo los siguientes resultados que se pueden observar en la Tabla 20:

Tabla 20

Resultados del tiempo de fraguado inicial y final

| N° | Tiempo (segundos) | 0% Silica gel | | 0,5 % Silica gel Ret. Tamiz N° 200 | | 0,5 % Silica gel Ret. Tamiz N° 270 | | 0,5 % Silica gel Ret. Tamiz N° 325 | | 0,5 % Silica gel Ret. Tamiz N° 400 | | 0,5 % Silica gel Pas. Tamiz N° 400 | |
|----|-------------------|------------------|-----------|------------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|------------------------------------|-----------|
| | | Penetración (mm) | | Penetración (mm) | | Penetración (mm) | | Penetración (mm) | | Penetración (mm) | | Penetración (mm) | |
| | | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 1 | Muestra 2 |
| 1 | 45 | 40 | 40 | 40 | 39,9 | 39,9 | 40 | 39,4 | 40 | 39,8 | 40 | 40 | 39,5 |
| 2 | 60 | 39,9 | 40 | 40 | 39,7 | 39,4 | 40 | 39,1 | 40 | 39,6 | 40 | 39,3 | 39,4 |
| 3 | 75 | 39,8 | 40 | 40 | 39,4 | 39,4 | 40 | 38,7 | 40 | 39,4 | 39,9 | 38,6 | 39,2 |
| 4 | 90 | 39,3 | 40 | 40 | 39,8 | 39,5 | 39,9 | 36,3 | 40 | 39,4 | 39,4 | 38,7 | 38,7 |
| 5 | 105 | 39,2 | 40 | 40 | 39,6 | 38,6 | 39,5 | 35,9 | 39,1 | 38,8 | 39,2 | 38,7 | 38,4 |
| 6 | 120 | 39,6 | 40 | 40 | 39,4 | 37,7 | 39,6 | 35,6 | 39,9 | 34,5 | 39,1 | 27,9 | 13,4 |
| 7 | 135 | 37,9 | 40 | 39 | 39,2 | 35,7 | 39 | 34,4 | 35,2 | 30,3 | 39 | 2,1 | 10,9 |
| 8 | 150 | 39,8 | 39,9 | 39,6 | 38,9 | 34,7 | 37,1 | 10,2 | 22,4 | 16,8 | 20 | 2,4 | 6,8 |
| 9 | 165 | 39,8 | 39 | 39,3 | 37,8 | 32,5 | 31,3 | 1 | 16,9 | 5,3 | 4,4 | 1,5 | 3,9 |
| 10 | 180 | 39,8 | 39,2 | 39,4 | 35,2 | 26,4 | 31,7 | 0,9 | 2,7 | 7,1 | 2,1 | 0,8 | 2,4 |
| 11 | 195 | 39,6 | 38,4 | 35,9 | 5,6 | 9,5 | 23,1 | 0,6 | 0,7 | 0,5 | 1,2 | 1,3 | 0,7 |
| 12 | 210 | 39,8 | 28,3 | 23,2 | 11,2 | 4,1 | 13,6 | 0,5 | 1,1 | 2,9 | 0,8 | 1,2 | 28,3 |
| 13 | 225 | 11,2 | 9,6 | 11 | 1,9 | 0,4 | 2,8 | 0,2 | 0,8 | 0,4 | 0,6 | 0,5 | 0 |
| 14 | 240 | 4,4 | 1,2 | 0,4 | 0,4 | 0 | 0,6 | 0 | 0,4 | 0,2 | 0 | 0,8 | 0 |
| 15 | 255 | 0,5 | 0,7 | 0,3 | 0 | 0 | 0,3 | 0 | 0 | 0,1 | 0 | 0,4 | 0 |
| 16 | 270 | 1,2 | 0,5 | 0,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | 285 | 0,1 | 0,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 18 | 300 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tiempo inicial de fraguado

Tiempo final de fraguado

- **Tiempo de Fraguado Inicial**

En la Figura 34 se puede observar que el tiempo inicial de fraguado va disminuyendo cuando el tamaño de la partícula de Silica gel es menor, debido a que este polímero absorbe el agua de la mezcla, haciendo que la pasta de cemento fragüe más rápido al estar en tamaños reducidos.

El fraguado inicial presenta distintos valores los cuales van en un rango de 215 minutos a 117 minutos, siendo el mayor valor para una muestra con 0% de sílice y el menor para una de 0.5% de sílice con tamaño menor a $38\mu\text{m}$ (pasante tamiz N°400). El espécimen con partículas de sílice pasantes del tamiz N°400 presentó un fraguado más rápido con aproximadamente el 84% en relación al espécimen piloto.

Tabla 21

Resumen del tiempo de fraguado inicial

| Retenido # Tamiz | Tiempo de Fraguado Inicial | | | |
|---------------------|----------------------------|-----------|-----------------|-------|
| | Tiempo | | Tiempo Promedio | |
| | Muestra 1 | Muestra 2 | Minutos | Horas |
| 0 % Silica gel | 218 | 213 | 215 | 3,59 |
| Ret. N° 200 | 208 | 185 | 197 | 3,28 |
| Ret. N° 270 | 181 | 192 | 186 | 3,11 |
| Ret. N° 325 | 141 | 147 | 144 | 2,40 |
| Ret. N° 400 | 141 | 146 | 143 | 2,39 |
| Pas. N° 400 | 122 | 113 | 117 | 1,96 |

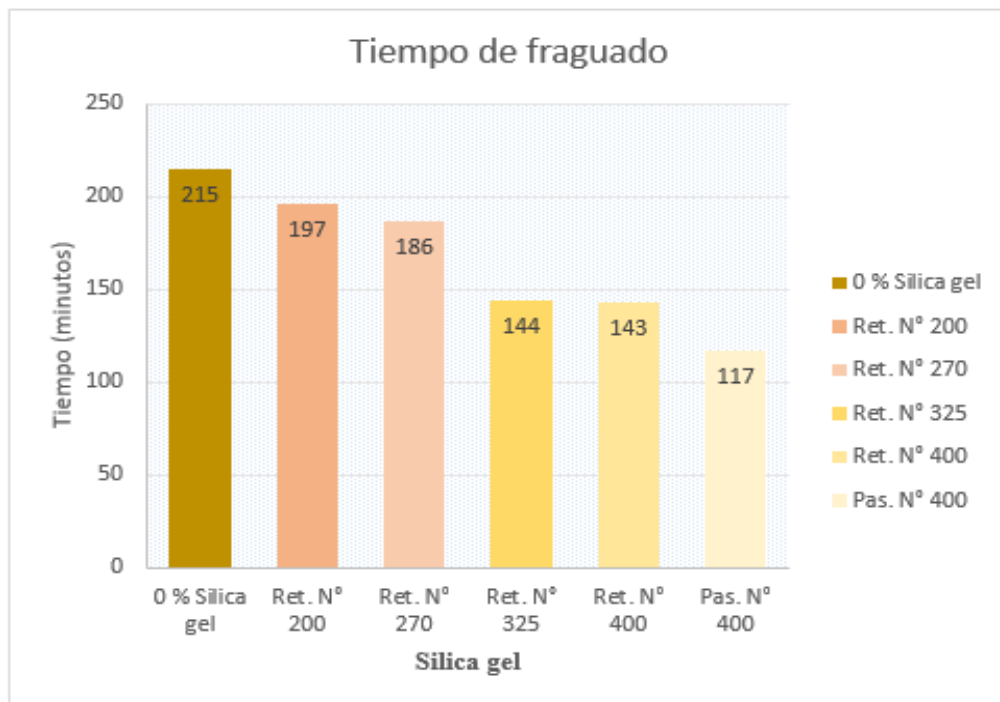


Figura 34 Diagrama del tiempo de fraguado inicial con los respectivos porcentajes de Silica gel

Tiempo de Fraguado Final

Tabla 22

Resumen tiempo de fraguado final

| Retenido # Tamiz | Tiempo de Fraguado Final | | | |
|---------------------|--------------------------|-----------|-----------------|-------|
| | Tiempo | | Tiempo Promedio | |
| | Muestra 1 | Muestra 2 | Minutos | Horas |
| 0 % Silica gel | 300 | 300 | 300 | 5,00 |
| Ret. N° 200 | 285 | 255 | 270 | 4,50 |
| Ret. N° 270 | 240 | 270 | 255 | 4,25 |
| Ret. N° 325 | 240 | 255 | 248 | 4,13 |
| Ret. N° 400 | 255 | 240 | 248 | 4,13 |
| Pas. N° 400 | 270 | 225 | 248 | 4,13 |

3.3. Silica gel

El silica gel a nivel comercial se lo encuentra en varias dimensiones, el tamaño de las partículas que presenta este producto no son las adecuadas para ser utilizadas en esta investigación, por esta razón se realizó un proceso de triturado y ensayos para determinar las características del mismo.

3.3.1. Proceso de triturado

La muestra de silica gel al estar completamente seca presenta color azul y aspecto cristalino, al ser humedecida las partículas son incoloras y tienden a gelificarse. El gel de sílice necesita un proceso de triturado, ya que en el mercado se lo encontró en forma de cristal y en diferentes tamaños como se observa en la Figura 35.

En esta investigación el proceso de triturado del polímero súper absorbente Silica gel se realizó de forma manual, debido a que para moler mediante el molino de alta energía para nano partículas, la muestra de sílice debe ser humedecida haciendo que pierda sus propiedades iniciales.

Para el triturado se utilizó una herramienta para molido manual (mortero), como resultado de este proceso se logró tener partículas de diferentes tamaños, que posteriormente fueron tamizadas mediante los tamices (N° 200, 270, 325 y 400), de los cuales se obtuvo muestras con tamaños determinados, los mismos que serán utilizados para elaborar morteros.



Figura 35 Trituración de Silica gel de tamaño comercial



Figura 36 Proceso de triturado de Silica gel



Figura 37 Silica gel triturada y en estado comercial

Los primeros ensayos se realizaron con silica gel retenido en el tamiz N° 200, de esta manera se obtuvo el porcentaje óptimo con el que se alcanzó mayor resistencia, posteriormente se elaboró muestras con el porcentaje óptimo y diferentes tamaños de las partículas de silica gel como son las retenidos en los tamices N° 270, N°300, N° 400 y el pasante del tamiz N° 400.

3.3.2. Composición química (EDS)

Este estudio se realizó para determinar la composición elemental porcentual del silica gel. En el ensayo de EDS se tomó en cuenta los siguientes elementos químicos O, Si (ver, Figura 38).

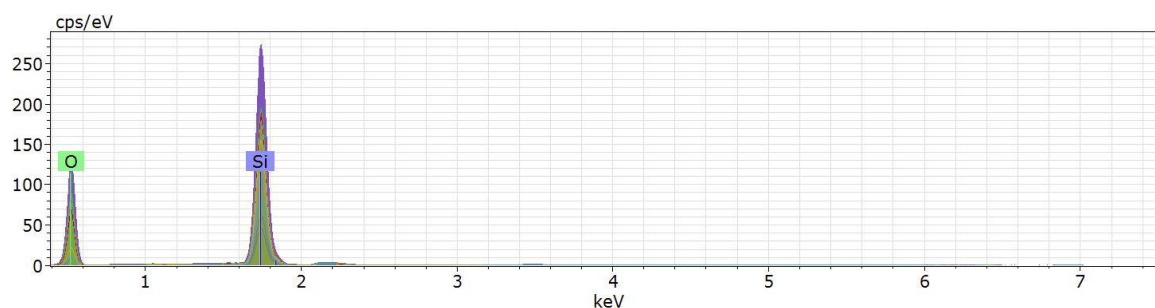


Figura 38 Análisis EDS de la muestra de silica gel

El análisis se efectuó mediante el estudio de 20 puntos de los cuales se obtuvo un porcentaje promedio en peso y la desviación estándar. Los resultados se presentan en la Tabla 23.

Tabla 23

Análisis EDX de la muestra de silica gel en promedio del porcentaje en peso (wt. %)

| Cuantificación de Resultados | | |
|------------------------------|-------|-------|
| Espectro | O | Si |
| Silica gel | 59,19 | 19,56 |
| Silica gel | 50,59 | 22,40 |
| Silica gel | 49,76 | 24,95 |
| Silica gel | 57,94 | 21,04 |
| Silica gel | 58,85 | 21,98 |
| Silica gel | 58,12 | 20,98 |
| Silica gel | 60,51 | 28,28 |
| Silica gel | 59,26 | 27,07 |

CONTINÚA



| | | |
|---|-------|-------|
| Silica gel | 51,78 | 24,26 |
| Silica gel | 57,66 | 25,33 |
| Silica gel | 57,18 | 21,49 |
| Silica gel | 54,70 | 23,16 |
| Silica gel | 49,70 | 27,54 |
| Silica gel | 59,30 | 19,99 |
| Silica gel | 57,60 | 20,46 |
| Silica gel | 54,17 | 23,97 |
| Silica gel | 56,36 | 23,28 |
| Silica gel | 42,33 | 30,54 |
| Silica gel | 56,96 | 20,95 |
| Valor medio: | 55,56 | 23,46 |
| Desviación Estándar: | 4,59 | 3,02 |
| Desviación Estándar significativa: | 1,03 | 0,68 |

Mediante el estudio realizado se determinó que la muestra de silica gel tiene un porcentaje de 55.56% de Oxígeno y 23.46% de Silicio.

3.3.3. Difracción de rayos X (XRD)

En la muestra de silica gel se realizó el análisis del difractograma sobre el promedio de seis mediciones entre los ángulos 5° a 90° (Θ - 2Θ).

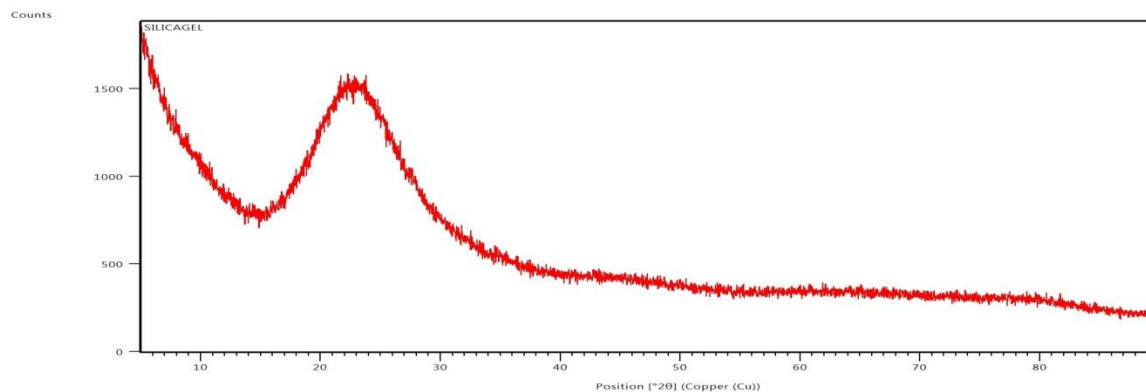


Figura 39 Patrón de difracción de rayos x de Silica gel

Mediante el patrón de difracción de rayos X mostrada en la Figura 39 se determinó que la muestra de silica gel presenta una estructura amorfa.

3.3.4. Microscopía electrónica de barrido (SEM)

El equipo que se utilizó para realizar la microscopía electrónica de barrido es el siguiente:



Figura 40 Equipo para ensayo SEM

Para realizar el ensayo la muestra de silica gel fue fijada en una cinta adhesiva conductora de carbono doble cara y colocada en un porta muestras (Stub), posteriormente se cubrió por 90 segundos con una capa de aproximadamente 20nm de oro conductor (pureza de 99.99%) utilizando un evaporador previo al análisis. Las micrografías se llevaron a cabo en el microscopio electrónico de barrido (ver, Figura 40).

3.3.4.1. Registro de micrografías de silica gel con una magnificación de 1.00 kx

En las Figuras 41, 42, 43 y 44 se puede observar la micrografía de la muestra de silica gel y los resultados de tomar 8 medidas de los tamaños de las partículas en nanómetros (nm) mediante el software ImageJ.

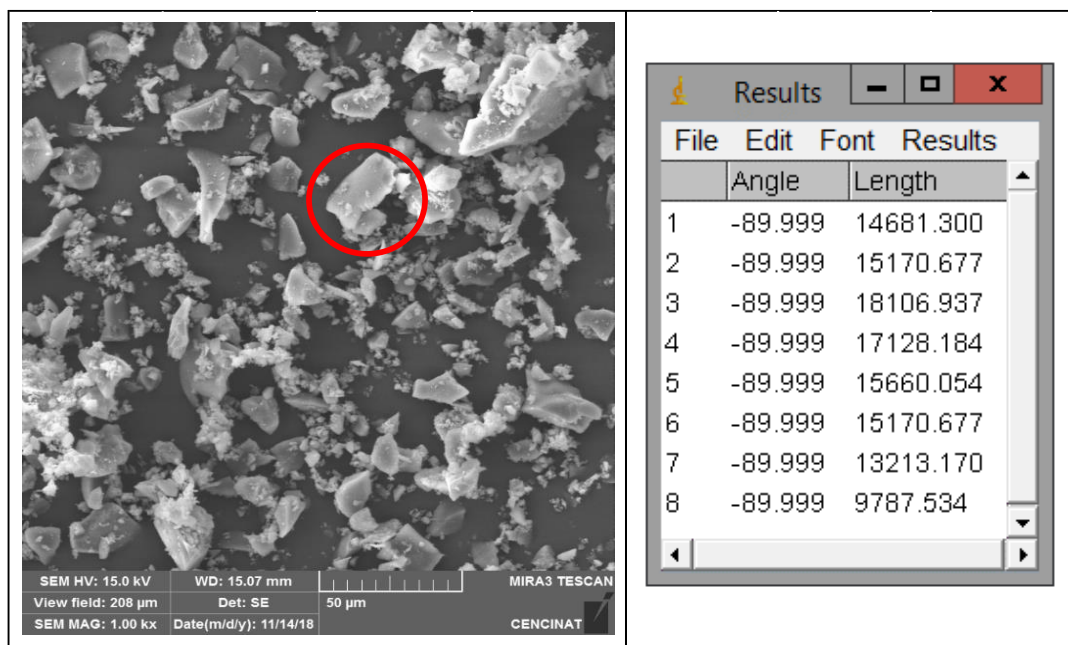


Figura 41 Micrografías de la muestra 1 de Silica gel a 1.0 kx (SEM) y tamaño de las partículas en nm (ImageJ)

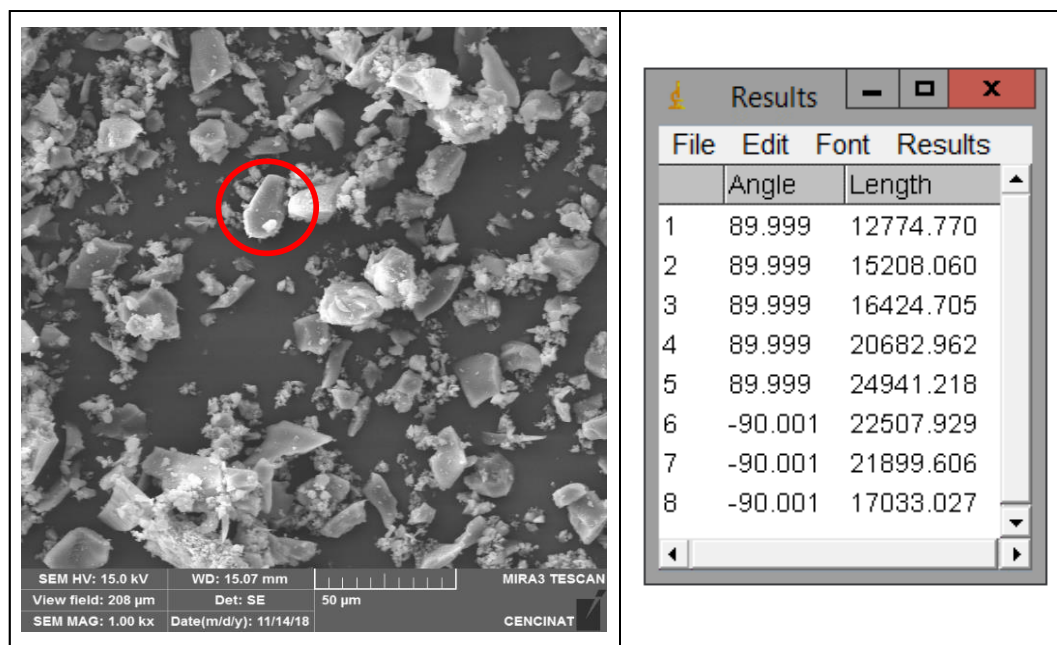


Figura 42 Micrografías de la muestra 2 de Silica gel a 1.0 kx (SEM) y tamaño de las partículas en nm (ImageJ)

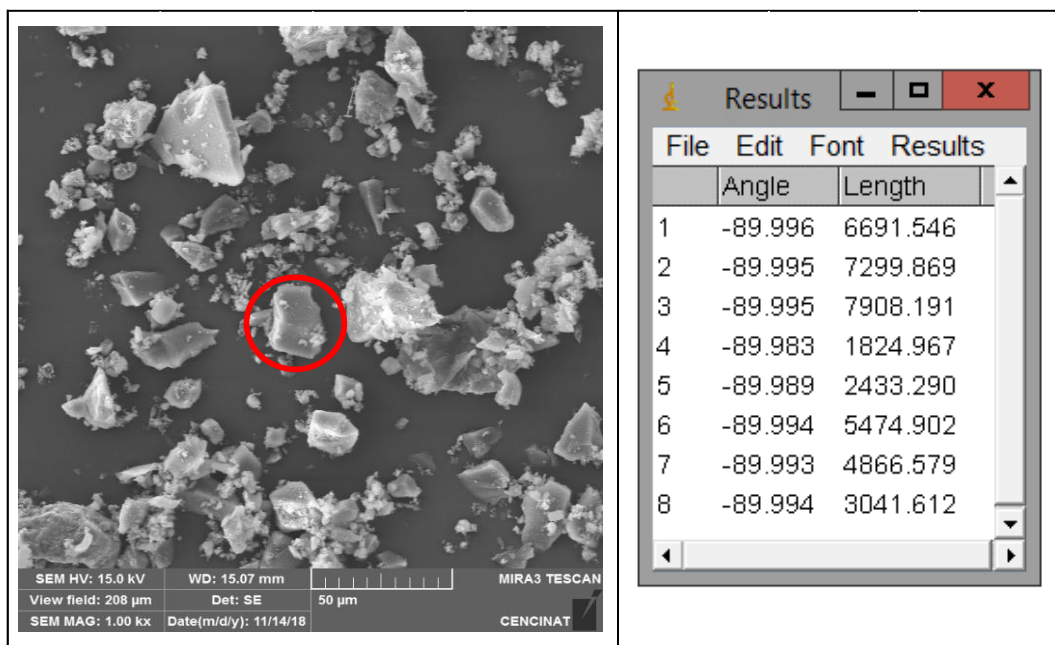


Figura 43 Micrografías de la muestra 3 de Silica gel a 1.0 kx (SEM) y tamaño de las partículas en nm (ImageJ)

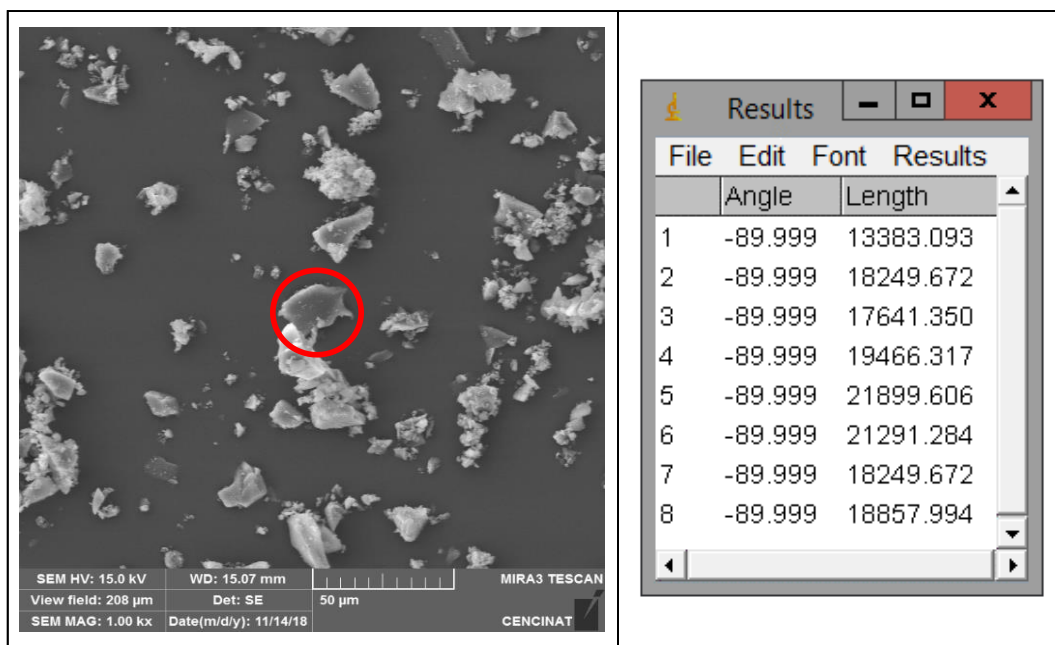


Figura 44 Micrografías de la muestra 4 de Silica gel a 1.0 kx (SEM) y tamaño de las partículas en nm (ImageJ)

Los resultados obtenidos (ver, Tabla 24) nos indican que las partículas de silica gel que fueron tamizadas y pasaron por el tamiz #400 tienen medidas que varían desde $4\mu\text{m}$ hasta $20\mu\text{m}$, esto es debido a que se realizó una trituración manual.

Tabla 24
Tamaños promedio de las partículas de silica gel

| Muestra | Tamaño Promedio (μm) | Desviación Estándar |
|---------|-----------------------------------|---------------------|
| 1 | 14,865 | 2,535 |
| 2 | 18,934 | 4,182 |
| 3 | 4,943 | 2,309 |
| 4 | 18,630 | 2,600 |

* $1\ \mu\text{m} = 10^{-6}\ \text{m}$
* $1\ \mu\text{m} = 10^3\ \text{nm}$

CAPÍTULO IV

DOSIFICACIÓN Y ELABORACIÓN DE MORTEROS CON Y SIN GEL DE SÍLICE

4.1. Dosificación, elaboración y determinación de las propiedades de morteros realizados con 0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de gel de sílice en relación al cemento

En la actualidad el uso de mortero ha aumentado, siendo su principal uso como elemento de relleno o pega. Se procedió a realizar la dosificación del mortero utilizando el procedimiento del laboratorio de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad del Cauca, el cual calcula los volúmenes absolutos ocupados por cada uno de los elementos del mortero. Para realizar la dosificación de morteros es indispensable conocer las propiedades de cada uno de los materiales que se emplearan en la elaboración del mismo (Rivera L.).

4.1.1. Selección de la fluidez

La fluidez se escogió de acuerdo a lo especificado en la norma NTE INEN 2 518 (2010), la misma que indica que el mortero debe estar preparado con la dosificación adecuada, la misma que produzca un flujo de $110\% \pm 5\%$.

En la Tabla 5 del capítulo 2 se indica que con el flujo que se definió, el mortero tendrá una consistencia media (plástica), la misma que podrá ser utilizada para pegar mamposterías, baldosines y revestimientos.

Para obtener el flujo deseado se realizó la preparación de varias mezclas en las que se calculó diferentes medidas de flujo, estas se presentan en la Tabla 25.

Tabla 25
Resultados de las medidas de flujo

| Cemento (g) | Cerámica sanitaria reciclada (g) | Agua (g) | Diámetro | | | Flujo | |
|-------------|----------------------------------|----------|----------|------|------|-------|---------|
| 218,23 | 495,25 | 109 | 19,0 | 20,0 | 19,0 | 77,0 | |
| | | 137 | 25,5 | 25,0 | 25,5 | 26,0 | 102,0 |
| | | 142 | 28,5 | 29,0 | 30,0 | 29,0 | 116,5 |
| | | 139 | 27,5 | 27,5 | 27,5 | 26,5 | 109,0 * |

* Cumple con la norma (NTE INEN 2 518, 2010)

Como se puede observar la cantidad de agua que se utilizó para preparar el mortero es de 139 g, con la que se obtuvo una medida de flujo de 109, que se encuentra en lo especificado en la norma (NTE INEN 2 518, 2010).

4.1.2. Determinación de la resistencia de dosificación

En esta investigación la dosificación realizada se basó en un mortero tipo M, en la que la mínima resistencia promedio a la compresión a 28 días es de 17.2 MPa (175,39 kg/cm²).

Para determinar la resistencia que se usó en la dosificación del mortero, se tomó en cuenta la siguiente fórmula:

$$R'mm = 1.35 * R'm \quad (6)$$

R'mm: Resistencia a la compresión del mortero, de dosificación, a los 28 días, medida en cubos de 5cm, de arista (Mpa o kg/cm²).

$R'm$: Resistencia a la compresión del mortero mínima a los 28 días, medida de acuerdo con la norma NTE INEN 2 518 (2010)(MPa).

Esto es debido a que el número de ensayos a compresión a efectuar es menor a 15.

Cálculo:

$$R'mm = 1.35 * 17.2Mpa.$$

$$R'mm = 23.22 Mpa.$$

$$R'mm = 236.78 kg/cm^2.$$

4.1.3. Selección de la relación agua/cemento

Para determinar la relación agua/cemento no solo es necesario considerar la resistencia que debe tener el mortero, sino que también hay que tomar en cuenta varios factores como la durabilidad, retracción, entre otras. Esto es debido a que aunque el mortero tenga la misma relación A/C la resistencia suele cambiar por las distintas propiedades que tienen el cemento, agua y agregado que se usen en la mezcla.

Es necesario determinar la relación A/C para los materiales que se vayan a usar en la mezcla, para esto se empleó la información de la Figura 45. La misma que nos indica la relación A/C en base a la resistencia que se pretende obtener.

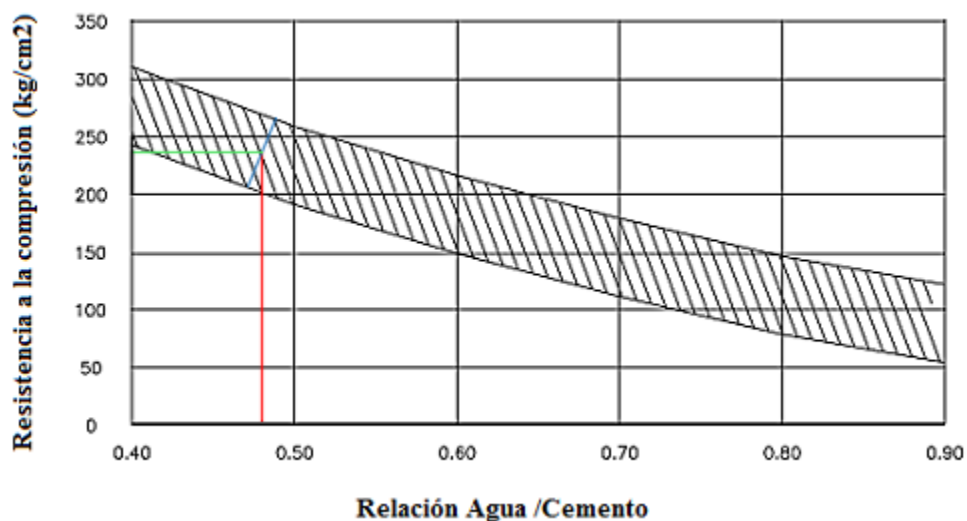


Figura 45 Resistencia a la compresión del mortero Vs. A/C

Fuente: (Rivera L)

De acuerdo a la norma NTE INEN 2 518 (2010), la resistencia que se utilizó en la preparación del mortero es de 17,2 MPa, pero en el inciso 4.1.3 selección de la relación agua/cemento, se decidió utilizar una resistencia de 236.78 kg/cm², con este valor se encontró una relación A/C de 0.48.

4.1.4. Estimación del contenido de cemento

La Figura 46 nos proporciona el contenido de cemento utilizando la resistencia a la compresión (kg/cm²) y el módulo de finura. Para realizar el cálculo exacto del contenido de cemento se efectuó una interpolación con el módulo de finura de 2.1

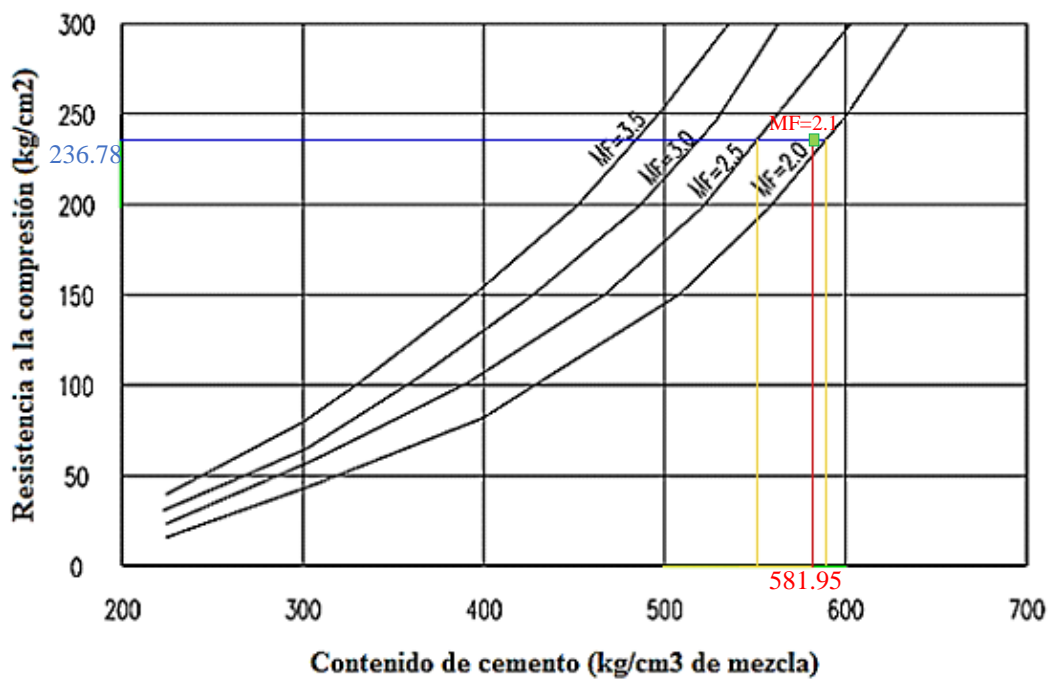


Figura 46 Contenido de cemento de acuerdo al módulo de finura de 2.1

A continuación se detallan los valores con los que se determinó el contenido de cemento:

- Resistencia a la compresión: 236.78 kg/cm².
- Módulo de finura agregado: 2.1

Tabla 26

Contenido de cemento con un módulo de finura de 2.1

| Módulo de finura | Resistencia a la compresión (kg/cm ²) | Contenido de cemento (kg/m ³) |
|------------------|---|---|
| 2 | 236,78 | 589,52 |
| 2,1 | 236,78 | 581,95 |
| 2,5 | 236,78 | 551,68 |

Como se puede observar en la Tabla 26 el contenido de cemento de acuerdo a un módulo de finura de 2.1 es de 581.95 kg/m^3 , los valores exactos del contenido de cemento del módulo de finura de 2 y 2.5 fueron obtenidos mediante el software AutoCAD.

4.1.5. Cálculo de la cantidad de agua

Según Rivera (2009), la cantidad de agua que se utiliza en la mezcla se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$A = C * \left(\frac{A}{C}\right) \quad (7)$$

Donde:

A : Cantidad de agua (kg/m^3)

C : Cantidad de cemento (kg/m^3)

A/C : Relación agua/cemento

Mediante la ecuación se determinó que la cantidad de agua a utilizar es la siguiente:

$$A = 581,95 * 0,48$$

$$A = 279,34 \text{ kg/m}^3$$

4.1.6. Cálculo del contenido de agregado

Para calcular el contenido del agregado se procedió de la siguiente manera:

$$Vf = 1000 - \frac{C}{G_C} - \frac{A}{G_A} - \frac{Ad}{G_{Ad}} \quad (8)$$

Vf : Volumen absoluto del agregado

C : Cantidad de Cemento (kg)

A : Cantidad de Agua (kg)

Ad : Cantidad de Aditivos (kg)

G_C : Densidad del Cemento (kg/dm^3)

G_A : Densidad del Agua (kg/dm^3)

G_{Ad} : Densidad del aditivo (kg/dm^3)

$$\text{Vol. absoluto material} = \frac{\text{Masa material}}{\text{Densidad}} \quad (9)$$

$$Pf = Vf * Gf \quad (10)$$

Pf : Masa seca del agregado (kg/m^3 mortero)

Cálculo:

Se calculó el volumen absoluto del agregado.

$$Vf = 1000 - \frac{C}{G_C} - \frac{A}{G_A}$$

$$Vf = 1000 - \frac{581.95 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{3.14 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}} - \frac{279.34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{1.00 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}}$$

$$Vf = 535.33 \frac{\text{dm}^3}{\text{m}^3}$$

Cálculo de la masa seca del agregado:

La densidad del agregado es de $2.465 \text{ kg}/\text{dm}^3$ (ver, Tabla 14)

$$Pf = Vf * Gf$$

$$Pf = 535.33 \frac{dm^3}{m^3} * 2.467 \frac{kg}{dm^3}$$

$$Pf = 1320.658 \frac{kg}{m^3}$$

4.1.7. Cálculo de las porciones iniciales

Para calcular las porciones iniciales es necesario determinar el volumen de mortero que se va a utilizar, después se debe encontrar la cantidad exacta de cada material, para esto se realizó los siguientes cálculos.

- **Volumen del molde a utilizar**

$$V = l * l * l \tag{11}$$

Donde:

V : Volumen de un cubo

l : Lado del cubo

Por lo tanto:

$$V = 5 * 5 * 5$$

$$V = 125 \text{ cm}^3$$

$$V = 0,000125 \text{ m}^3$$

Debido a que el molde que se utilizó cuenta con 3 cubos de la misma medida el volumen total es:

$$Vt = 3 * V$$

$$Vt = 3 * 0,000125$$

$$Vt = 0,000375 \text{ m}^3$$

- **Cantidad de agua**

Para determinar la cantidad de agua que se utilizó en la mezcla se realizó la siguiente relación:

$$\frac{1 \text{ m}^3}{279,34 \text{ kg}} = \frac{0,000375 \text{ m}^3}{A}$$

$$A = 0,000375 * 279,34$$

$$A = 0,105 \text{ kg}$$

$$A = 104,75 \text{ g} \rightarrow A = 139,00 \text{ g}$$

Para la cantidad de agua se tomó 139.0 g debido a que con este valor, se obtiene el flujo según la norma NTE INEN 2 518 (2010).

- **Cantidad de cemento**

Para determinar la cantidad de cemento que se utilizó se hace lo siguiente:

$$\frac{1 \text{ m}^3}{581,95 \text{ kg}} = \frac{0,000375 \text{ m}^3}{C}$$

$$C = 0,000375 * 581,95$$

$$C = 0,218 \text{ kg} \rightarrow C = 218,23 \text{ g}$$

- **Cantidad de residuos sanitarios reciclados**

La cantidad de residuos sanitarios reciclados que se utilizó es la siguiente:

$$\frac{1 \text{ m}^3}{1320,66 \text{ kg}} = \frac{0,000375 \text{ m}^3}{Ag}$$

$$Ag = 0,000375 * 1320,66$$

$$Ag = 0,495 \text{ kg}$$

$$Ag = 495,25 \text{ g}$$

4.1.8. Resumen de la dosificación

Tabla 27

Determinación de la resistencia mínima

| Mortero de Pega | | | | | |
|------------------------|--|-------|-----|--------|--------------------|
| Rm * | Resistencia a la compresión (MPa o Kg/cm ²) | 17,2 | MPa | 175,39 | Kg/cm ² |
| Rpm ** | Resistencia a la compresión del mortero, de dosificación a los 28 días (MPa o Kg/cm ²) | 23,22 | MPa | 236,78 | Kg/cm ² |

Tabla 28

Determinación de la cantidad de material (kg/m³)

| Relación agua/cemento (A/C) | | | |
|------------------------------------|--|----------|---------------------------------|
| A/C | Relación Agua Cemento (28 días) | 0,48 | |
| Contenido de cemento | | | |
| MF | Módulo de finura | 2,1 | |
| C | Contenido de cemento | 581,95 | kg/m ³ |
| Cantidad de agua | | | |
| A | Cantidad de agua | 279,336 | kg/m ³ |
| Contenido de agregado | | | |
| Gc | Densidad del cemento (kg/dm ³) | 3,14 | kg/dm ³ |
| Ga | Densidad del agua (kg/dm ³) | 1 | kg/dm ³ |
| Gf | Densidad del agregado (kg/dm ³) | 2,467 | kg/dm ³ |
| Vf | Volumen absoluto del agregado (dm ³) | 535,330 | dm ³ /m ³ |
| Pf | Masa seca del agregado (kg/m ³) | 1320,658 | kg/m ³ |

Tabla 29*Volumen del molde*

| | | | | | |
|----|-----------------------|-----|-----------------|----------|----------------|
| C | Medida de un lado | 5 | cm | | |
| V | Volumen de un cubo | 125 | cm ³ | 0,000125 | m ³ |
| Vt | Volumen de tres cubos | 375 | cm ³ | 0,000375 | m ³ |

Tabla 30*Dosificación para el mortero sin aditivo*

| Materiales | | Peso | | Volumen | |
|------------|----------|-------|----|---------|---|
| A | Agua | 0,139 | kg | 139,000 | g |
| C | Cemento | 0,218 | kg | 218,231 | g |
| Ag | Agregado | 0,495 | kg | 495,247 | g |

4.1.9. Proporciones iniciales

Mediante el proceso de dosificación se determinó las proporciones en peso con las que se elaboró el mortero.

A: C: Ag

0.64: 1: 2.27

4.2. Proceso de elaboración del mortero

4.2.1. Elaboración de especímenes

4.2.1.1. Equipo

Según la norma NTE INEN 488 (2009), para este ensayo se necesitó una mezcladora, tazón, paleta, pisón con una sección transversal de alrededor de 13 mm x 25 mm y una longitud de 120 mm a 150 mm, espátula y moldes que deben ser cubos de 50 mm de metal duro, que no deben tener más de tres compartimentos, para evitar alabeos o ensanchamientos, las paredes del molde deben ser rígidas y las superficies interiores totalmente planas.



Figura 47 *Máquina mezcladora y moldes*

4.2.1.2. Procedimiento

El procedimiento para la mezcla de morteros determinada en la norma NTE INEN 155 (2009), se lo realizó de la siguiente manera:

- En la máquina mezcladora se coloca el tazón y la paleta totalmente secos.
- Colocar el agua para la mezcla.
- Incorporar el cemento y encender la mezcladora en velocidad baja durante 30 segundos.
- Colocar la arena elaborada de los residuos de cerámica sanitaria triturada en un periodo de 30 segundos mientras se siga mezclando a velocidad baja.
- Parar la mezcladora y cambiar a velocidad media mezclando por 30 segundos.
- Detener la máquina y dejar reposar el mortero durante 90 segundos, durante los 15 primeros segundos con la espátula empujar hacia abajo la mezcla adherida en el tazón, el tiempo restante cubrir con una tapa.
- Culminar con el mezclado durante 60 segundos en velocidad media.

Para moldear la mezcla obtenida se utilizó el procedimiento por apisonamiento manual de acuerdo a la norma (NTE INEN 488, 2009), la cual se detalla a continuación:

- Rellenar los moldes en un periodo igual o inferior a 2 minutos y 30 segundos del amasado del mortero.
- Los moldes deben estar perfectamente engrasados y sin excesos de grasa.
- Se deben llenar los moldes en dos capas. La primera capa de mortero aproximadamente 25 mm de espesor.
- Apisonar cada compartimento 32 veces alrededor de 10 segundos en 4 rondas, en cada ronda compactar con 8 golpes perpendicularmente.
- Al finalizar la compactación, nivelar y alisar la cara superior de cada espécimen, con la parte lisa de la espátula retirando el exceso de mezcla.



Figura 48 *Apisonado de especímenes*

Los especímenes fueron almacenados en una cámara de curado, según la norma NTE INEN 488 (2009):

- Retirar los moldes 24 horas después para ser ensayados.

- Rotular cada espécimen.
- Los cubos de mortero que se ensayarán después de 24 horas se los debe colocar en agua en un tanque de almacenamiento de acuerdo a las edades que serán ensayadas en este caso es de 3, 7, 14, 21 y 28 días.

4.2.2. Curado

Las probetas deben encontrarse cubiertas completamente hasta el momento en el que se vaya a realizar los ensayos tanto de compresión como de flexión. La temperatura del agua debe ser de $23 \pm 2^\circ \text{C}$, para que se pueda alcanzar la resistencia definida (NTE INEN 198, 2009)

Los especímenes permanecieron en la piscina de curado durante 1, 3, 7, 14, 21 y 28 días, para mantener la temperatura y humedad adecuadas.



Figura 49 Curado de muestras

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. Determinación de la resistencia a la compresión

5.1.1. Equipo

Según la norma NTE INEN 488 (2009) la máquina de ensayo a compresión puede ser hidráulica o de tornillo, la carga aplicada debe tener una precisión de $\pm 1.0\%$. Debe tener dos bloques, el apoyo superior de un bloque de metal montado sobre una semiesfera anclada al centro del cabezal superior y el bloque inferior que debe estar centrado con respecto al bloque de apoyo superior. Las superficies de los bloques inferior y superior que están en contacto con la muestra deben tener un número de dureza no menor que HCR 60.



Figura 50 *Máquina de ensayo de resistencia a la compresión*

5.1.2. Material

El ensayo se realizó con dos o tres especímenes para cada periodo de tiempo, en esta investigación es de 24 horas, 3,7, 14, 21 y 28 días.

5.1.3. Procedimiento

Para realizar el ensayo se procedió de la siguiente manera:

- Asegurar el cabezal apoyado en la esfera.
- Colocar la muestra, bajo el centro del cabezal superior.
- Aplicar la carga sin reajustar la velocidad, en la última mitad de la carga.
- Registrar la carga total máxima indicada por la máquina.

5.1.4. Cálculos

La resistencia a la compresión se calculó de la siguiente manera:

$$f_m = \frac{P}{A} \quad (12)$$

f_m : Resistencia a la compresión (Mpa)

P : Carga total máxima (N)

A : Área de la sección transversal del cubo a la que se aplica carga (mm^2)

5.1.5. Resultados del ensayo de resistencia a la compresión

5.1.5.1. Resistencia a la compresión de probetas con 0% Silica gel

Tabla 31

Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 0% de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 1 | 15/08/2018 | 16/08/2018 | 1 | 50,50 | 51,00 | 51,00 | 2575,50 | 251,70 | 9353 | 3,63 | 37,03 |
| 2 | 15/08/2018 | 16/08/2018 | 1 | 50,60 | 51,10 | 51,00 | 2585,66 | 251,00 | 8621 | 3,33 | 34,00 |
| 3 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,60 | 51,00 | 51,30 | 2580,60 | 263,60 | 23389 | 9,06 | 92,42 |
| 4 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,60 | 51,10 | 51,40 | 2585,66 | 264,20 | 25456 | 9,84 | 100,39 |
| 5 | 15/08/2018 | 22/08/2018 | 7 | 50,90 | 50,90 | 51,30 | 2590,81 | 265,00 | 32326 | 12,48 | 127,23 |
| 6 | 15/08/2018 | 22/08/2018 | 7 | 50,70 | 50,80 | 51,10 | 2575,56 | 267,40 | 35027 | 13,60 | 138,68 |
| 7 | 15/08/2018 | 29/08/2018 | 14 | 51,00 | 50,80 | 51,00 | 2590,80 | 267,30 | 41192 | 15,90 | 162,13 |
| 8 | 15/08/2018 | 29/08/2018 | 14 | 51,10 | 50,80 | 50,90 | 2595,88 | 264,20 | 41070 | 15,82 | 161,33 |
| 9 | 15/08/2018 | 05/09/2018 | 21 | 50,70 | 51,00 | 50,90 | 2585,70 | 262,80 | 53399 | 20,65 | 210,59 |
| 10 | 15/08/2018 | 05/09/2018 | 21 | 50,70 | 50,80 | 51,00 | 2575,56 | 264,80 | 54226 | 21,05 | 214,69 |
| 11 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 28 | 50,50 | 51,00 | 50,90 | 2575,50 | 260,80 | 60480 | 23,48 | 239,46 |
| 12 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 28 | 50,80 | 51,00 | 51,00 | 2590,80 | 261,80 | 60123 | 23,21 | 236,64 |

En la Figura 51 se observa el diagrama Esfuerzo vs. Tiempo del mortero realizado sin Silica gel (mortero patrón). Estos especímenes fueron ensayados mediante la norma NTE INEN 488 (2009) en las edades de 1, 3, 7, 14, 21, 28 días.

Tabla 32

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% Silica gel

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 1 | 15/08/2018 | 16/08/2018 | 1 | 3,48 | 35,52 |
| 3 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 9,45 | 96,41 |
| 5 | 15/08/2018 | 22/08/2018 | 7 | 13,04 | 132,96 |
| 7 | 15/08/2018 | 29/08/2018 | 14 | 15,86 | 161,73 |
| 9 | 15/08/2018 | 05/09/2018 | 21 | 20,85 | 212,64 |
| 11 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 28 | 23,34 | 238,05 |

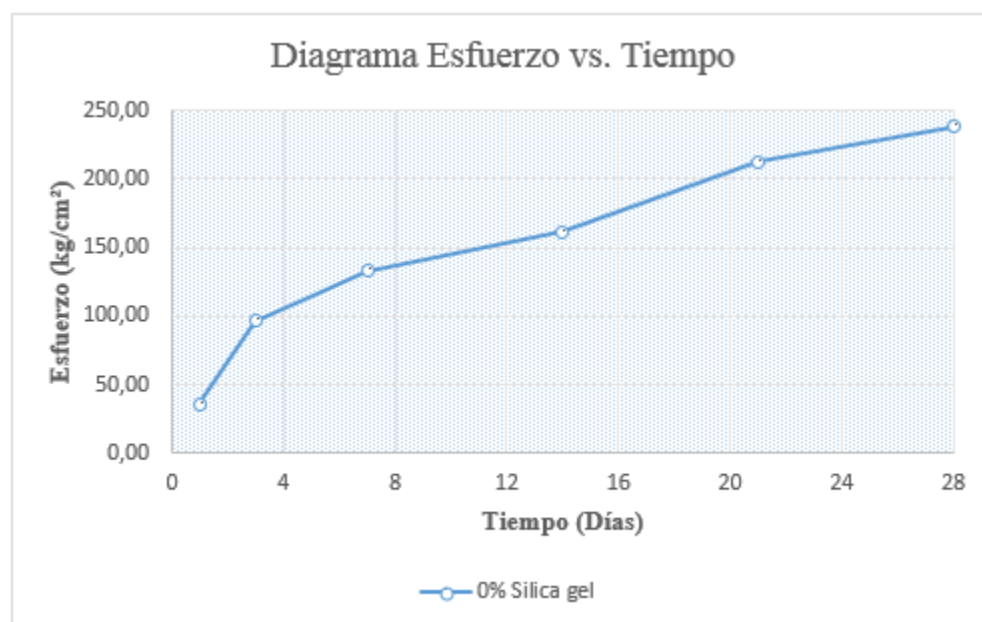


Figura 51 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0% Silica gel

5.1.5.2. Resistencia a la compresión de probetas con 0.5% Silica gel

Tabla 33

Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 0.5 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|---------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 13 | 16/08/2018 | 17/08/2018 | 1 | 50,40 | 50,70 | 50,70 | 2555,28 | 254,1 | 14464 | 5,66 | 57,72 |
| 14 | 16/08/2018 | 17/08/2018 | 1 | 50,20 | 50,30 | 50,40 | 2525,06 | 255,5 | 14981 | 5,93 | 60,50 |
| 15 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,90 | 50,90 | 51,10 | 2590,81 | 265,1 | 26256 | 10,13 | 103,34 |
| 16 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,70 | 50,70 | 50,70 | 2570,49 | 265,9 | 27850 | 10,83 | 110,48 |
| 17 | 21/08/2018 | 28/08/2018 | 7 | 50,80 | 50,80 | 51,10 | 2580,64 | 260,7 | 33565 | 13,01 | 132,63 |
| 18 | 21/08/2018 | 28/08/2018 | 7 | 50,90 | 50,90 | 50,90 | 2590,81 | 261,2 | 34991 | 13,51 | 137,72 |
| 19 | 22/08/2018 | 04/09/2018 | 14 | 51,00 | 51,20 | 50,60 | 2611,20 | 261,1 | 45245 | 17,33 | 176,69 |
| 20 | 22/08/2015 | 04/09/2018 | 14 | 50,90 | 50,90 | 51,00 | 2590,81 | 262,7 | 46498 | 17,95 | 183,01 |
| 21 | 21/08/2018 | 11/09/2018 | 21 | 50,70 | 51,10 | 51,10 | 2590,77 | 262,4 | 53537 | 20,66 | 210,72 |
| 22 | 21/08/2018 | 11/09/2018 | 21 | 50,60 | 51,00 | 50,70 | 2580,60 | 262,4 | 54575 | 21,15 | 215,65 |
| 23 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 50,60 | 51,00 | 50,60 | 2580,60 | 264,8 | 67658 | 26,22 | 267,35 |
| 24 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 50,50 | 51,10 | 50,60 | 2580,55 | 264,4 | 66921 | 25,93 | 264,44 |

En la Figura 52 se puede observar que la resistencia de los especímenes con 0.5% de silica gel en todas las edades tiene una resistencia superior a la de los especímenes patrón, la resistencia que presentó a los 28 días es de 265.90 kg/cm², la misma que supera con 27.85 kg/cm² a las muestras con 0% de silica gel.

Tabla 34

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5 % Silica gel

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 13 | 16/08/2018 | 17/08/2018 | 1 | 5,80 | 59,11 |
| 15 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 10,48 | 106,91 |
| 17 | 21/08/2018 | 28/08/2018 | 7 | 13,26 | 135,18 |
| 19 | 22/08/2018 | 04/09/2018 | 14 | 17,64 | 179,85 |
| 21 | 21/08/2018 | 11/09/2018 | 21 | 20,91 | 213,19 |
| 23 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 26,08 | 265,90 |

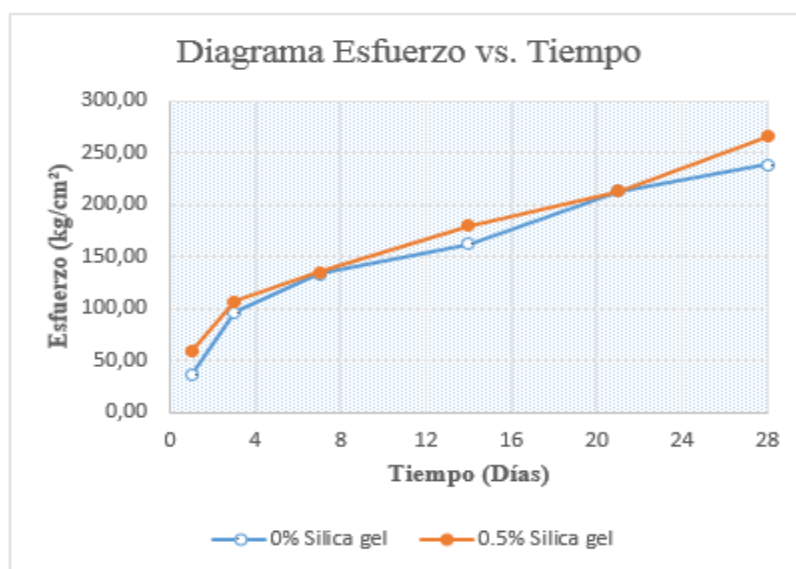


Figura 52 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5 % Silica gel

5.1.5.3. Resistencia a la compresión de probetas con 1% Silica gel

Tabla 35

Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 1 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|---------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 25 | 16/08/2018 | 17/08/2018 | 1 | 50,60 | 50,60 | 50,40 | 2560,36 | 255,3 | 14362 | 5,61 | 57,20 |
| 26 | 16/08/2018 | 17/08/2018 | 1 | 50,50 | 50,90 | 50,80 | 2570,45 | 257,1 | 14888 | 5,79 | 59,06 |
| 27 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,60 | 50,80 | 50,60 | 2570,48 | 261,9 | 24739 | 9,62 | 98,14 |
| 28 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,50 | 50,80 | 51,10 | 2565,40 | 261,5 | 22048 | 8,59 | 87,64 |
| 29 | 22/08/2018 | 29/08/2018 | 7 | 51,00 | 51,00 | 51,00 | 2601,00 | 263,8 | 37710 | 14,50 | 147,84 |
| 30 | 22/08/2018 | 29/08/2018 | 7 | 50,60 | 51,10 | 51,20 | 2585,66 | 263,3 | 39812 | 15,40 | 157,01 |
| 31 | 20/08/2018 | 05/09/2018 | 14 | 50,80 | 51,00 | 50,90 | 2590,80 | 260,4 | 49605 | 19,15 | 195,24 |
| 32 | 20/08/2018 | 05/09/2018 | 14 | 50,60 | 51,00 | 50,90 | 2580,60 | 260,5 | 43602 | 16,90 | 172,29 |
| 33 | 20/08/2018 | 12/09/2018 | 21 | 50,70 | 50,90 | 50,80 | 2580,63 | 260,6 | 52034 | 20,16 | 205,61 |
| 34 | 20/08/2018 | 12/09/2018 | 21 | 50,60 | 50,70 | 50,60 | 2565,42 | 260,3 | 51313 | 20,00 | 203,96 |
| 35 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 28 | 50,50 | 51,00 | 50,70 | 2575,50 | 262,5 | 61698 | 23,96 | 244,28 |
| 36 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 28 | 50,40 | 51,00 | 50,60 | 2570,40 | 262,9 | 61256 | 23,83 | 243,01 |

Mediante la Figura 53 se determinó que el mortero con 1% de sílice supera al mortero patrón a las edades de 1, 7, 14 y 28 días, mientras que a los 3 y 21 días el mortero patrón supera con el 4% de la resistencia a la compresión del mortero con sílice.

Tabla 36

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 1 % Silica gel

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 25 | 16/08/2018 | 17/08/2018 | 1 | 5,70 | 58,13 |
| 27 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 9,11 | 92,89 |
| 29 | 22/08/2018 | 29/08/2018 | 7 | 14,95 | 152,43 |
| 31 | 20/08/2018 | 05/09/2018 | 14 | 18,02 | 183,77 |
| 33 | 20/08/2018 | 12/09/2018 | 21 | 20,08 | 204,79 |
| 35 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 28 | 23,89 | 243,65 |

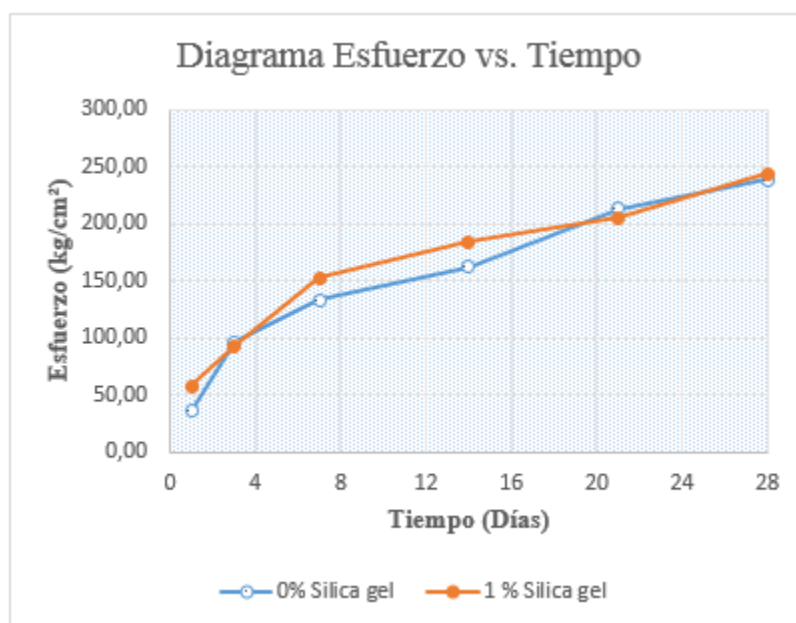


Figura 53 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 1 % Silica gel

5.1.5.4. Resistencia a la compresión de probetas con 2% Silica gel

Tabla 37

Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 2 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|---------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 37 | 16/08/2018 | 17/058/2018 | 1 | 50,40 | 50,50 | 50,40 | 2545,20 | 250,3 | 13007 | 5,11 | 52,11 |
| 38 | 16/08/2018 | 17/058/2018 | 1 | 50,40 | 50,40 | 50,80 | 2540,16 | 250,4 | 13083 | 5,15 | 52,52 |
| 39 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,80 | 51,10 | 50,60 | 2595,88 | 265 | 24296 | 9,36 | 95,44 |
| 40 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,90 | 50,80 | 51,10 | 2585,72 | 264,9 | 24640 | 9,53 | 97,17 |
| 41 | 20/08/2018 | 27/08/2018 | 7 | 50,70 | 50,80 | 51,00 | 2575,56 | 260 | 33133 | 12,86 | 131,18 |
| 42 | 20/08/2018 | 27/08/2018 | 7 | 50,80 | 50,60 | 51,20 | 2570,48 | 260,1 | 32977 | 12,83 | 130,82 |
| 43 | 21/08/2018 | 03/09/2018 | 14 | 50,80 | 50,90 | 50,90 | 2585,72 | 258,7 | 42349 | 16,38 | 167,01 |
| 44 | 21/08/2018 | 03/09/2018 | 14 | 50,70 | 51,00 | 50,90 | 2585,70 | 258,6 | 43056 | 16,65 | 169,80 |
| 45 | 20/08/2018 | 10/09/2018 | 21 | 50,70 | 51,00 | 50,80 | 2585,70 | 261,5 | 49218 | 19,03 | 194,10 |
| 46 | 20/08/2018 | 10/09/2018 | 21 | 50,60 | 51,00 | 50,60 | 2580,60 | 260,1 | 49065 | 19,01 | 193,88 |
| 47 | 07/08/2018 | 04/09/2018 | 28 | 50,90 | 50,80 | 50,80 | 2585,72 | 260,1 | 61192 | 23,67 | 241,32 |
| 48 | 07/08/2018 | 04/09/2018 | 28 | 50,70 | 50,70 | 50,90 | 2570,49 | 261 | 61268 | 23,84 | 243,05 |

La Figura 54 indica la diferencia que existe entre el mortero patrón y el mortero que contiene 2 % de sílice, la diferencia de las resistencias es mínima a los 28 días, debido a que el mortero que contiene el 2% de sílice presentó una resistencia a la compresión de 242.19 kg/cm² y la resistencia del mortero sin sílice es de 238.05 kg/cm², lo que nos dio un aumento de 4.14 kg/cm².

Tabla 38

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 2 % Silica gel

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 37 | 16/08/2018 | 17/058/2018 | 1 | 5,13 | 52,32 |
| 39 | 27/08/2018 | 30/08/2018 | 3 | 9,44 | 96,31 |
| 41 | 20/08/2018 | 27/08/2018 | 7 | 12,85 | 131,00 |
| 43 | 21/08/2018 | 03/09/2018 | 14 | 16,51 | 168,41 |
| 45 | 20/08/2018 | 10/09/2018 | 21 | 19,02 | 193,99 |
| 47 | 07/08/2018 | 04/09/2018 | 28 | 23,75 | 242,19 |

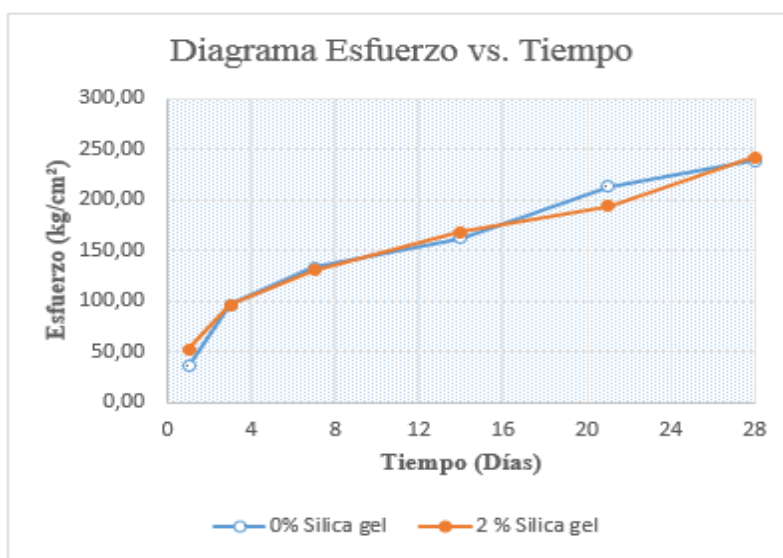


Figura 54 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 2 % Silica gel

5.1.5.5. Resistencia a la compresión de probetas con 3% Silica gel

Tabla 39

Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 3 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (kg) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|---------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|---------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 49 | 22/08/2018 | 23/08/2018 | 1 | 50,70 | 51,00 | 51,00 | 2585,70 | 256,5 | 8345 | 3,23 | 32,91 |
| 50 | 22/08/2018 | 23/08/2018 | 1 | 50,70 | 50,80 | 51,10 | 2575,56 | 256,6 | 8418 | 3,27 | 33,33 |
| 51 | 26/08/2018 | 29/08/2018 | 3 | 51,00 | 50,90 | 51,20 | 2595,90 | 262,6 | 19722 | 7,60 | 77,47 |
| 52 | 26/08/2018 | 29/08/2018 | 3 | 50,90 | 51,00 | 51,10 | 2595,90 | 262,4 | 19510 | 7,52 | 76,64 |
| 53 | 22/08/2018 | 29/08/2018 | 7 | 51,00 | 51,10 | 50,90 | 2606,10 | 263,7 | 35213 | 13,51 | 137,78 |
| 54 | 22/08/2018 | 29/08/2018 | 7 | 50,90 | 50,80 | 51,00 | 2585,72 | 261,2 | 34463 | 13,33 | 135,91 |
| 55 | 23/08/2018 | 05/09/2018 | 14 | 50,80 | 51,00 | 51,00 | 2590,80 | 258,7 | 41876 | 16,16 | 164,82 |
| 56 | 23/08/2018 | 05/09/2018 | 14 | 50,50 | 50,90 | 50,90 | 2570,45 | 262,5 | 41882 | 16,29 | 166,15 |
| 57 | 23/08/2018 | 12/09/2018 | 21 | 50,80 | 50,60 | 50,90 | 2570,48 | 262,2 | 54928 | 21,37 | 217,90 |
| 58 | 23/08/2018 | 12/09/2018 | 21 | 50,70 | 50,90 | 50,90 | 2580,63 | 262,6 | 55489 | 21,50 | 219,26 |
| 59 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 28 | 50,80 | 50,80 | 51,00 | 2580,64 | 264,8 | 57387 | 22,24 | 226,76 |
| 60 | 17/08/2018 | 11/09/2018 | 28 | 50,70 | 50,70 | 51,10 | 2570,49 | 265,3 | 57252 | 22,27 | 227,12 |

En la Figura 55 se evidencia que la resistencia a los 28 días del mortero patrón es mayor que la del mortero que contiene el 3% de Silica gel. La diferencia de las resistencias en la mayoría de edades de estos dos tipos de morteros no varió excesivamente, mientras que a la edad de 3 días se presentó una variación más grande con un porcentaje de 25%.

Tabla 40

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 3% Silica gel

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 49 | 22/08/2018 | 23/08/2018 | 1 | 3,25 | 33,12 |
| 51 | 26/08/2018 | 29/08/2018 | 3 | 7,56 | 77,06 |
| 53 | 22/08/2018 | 29/08/2018 | 7 | 13,42 | 136,85 |
| 55 | 23/08/2018 | 05/09/2018 | 14 | 16,23 | 165,49 |
| 57 | 23/08/2018 | 12/09/2018 | 21 | 21,44 | 218,58 |
| 59 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 28 | 22,26 | 226,94 |

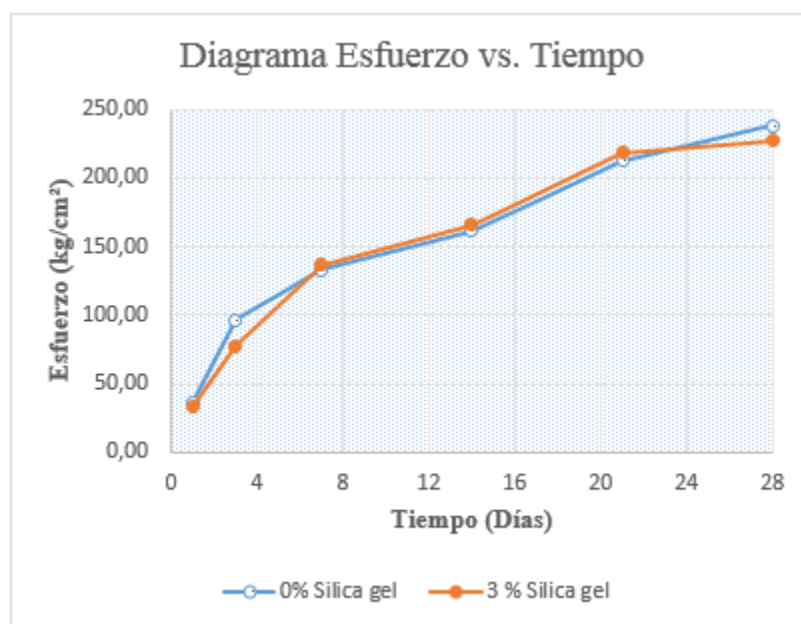


Figura 55 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 3 % Silica gel

5.1.5.6. Resistencia a la compresión de probetas con 4% Silica gel

Tabla 41

Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 4 % de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|---------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 61 | 21/08/2018 | 22/08/2018 | 1 | 50,60 | 50,80 | 50,90 | 2570,48 | 253,7 | 11396 | 4,43 | 45,21 |
| 62 | 21/08/2018 | 22/08/2018 | 1 | 51,00 | 50,70 | 51,10 | 2585,70 | 256,7 | 11137 | 4,31 | 43,92 |
| 63 | 28/08/2018 | 31/08/2018 | 3 | 50,70 | 51,00 | 51,10 | 2585,70 | 263 | 21870 | 8,46 | 86,25 |
| 64 | 28/08/2018 | 31/08/2018 | 3 | 50,60 | 51,30 | 51,10 | 2595,78 | 262,6 | 21620 | 8,33 | 84,93 |
| 65 | 27/08/2018 | 03/09/2018 | 7 | 50,60 | 51,00 | 50,90 | 2580,60 | 259,1 | 33980 | 13,17 | 134,27 |
| 66 | 27/08/2018 | 03/09/2018 | 7 | 50,70 | 50,80 | 51,10 | 2575,56 | 259,5 | 33560 | 13,03 | 132,87 |
| 67 | 27/08/2018 | 10/09/2018 | 14 | 50,70 | 50,70 | 51,20 | 2570,49 | 260,1 | 44807 | 17,43 | 177,75 |
| 68 | 27/08/2018 | 10/09/2018 | 14 | 50,60 | 50,70 | 50,80 | 2565,42 | 263,1 | 44930 | 17,51 | 178,59 |
| 69 | 27/08/2018 | 17/09/2018 | 21 | 50,80 | 51,30 | 50,90 | 2606,04 | 262,3 | 47885 | 18,37 | 187,37 |
| 70 | 27/08/2018 | 17/09/2018 | 21 | 50,80 | 50,90 | 50,80 | 2585,72 | 261,9 | 47154 | 18,24 | 185,96 |
| 71 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 50,70 | 51,00 | 51,10 | 2585,70 | 266,2 | 55644 | 21,52 | 219,44 |
| 72 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 50,60 | 51,10 | 51,00 | 2585,66 | 265,3 | 56272 | 21,76 | 221,92 |

La Figura 56 muestra que la resistencia a los 3, 21 y 28 días del mortero con 4% de sílica gel es inferior que la del mortero sin sílice. También se observó que la resistencia a los 28 días del mortero patrón es de 238.05 kg/cm² y la del mortero con 4% de sílice es de 220.68 kg/cm².

Tabla 42

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 4% Sílica gel

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 61 | 21/08/2018 | 22/08/2018 | 1 | 4,37 | 44,57 |
| 63 | 28/08/2018 | 31/08/2018 | 3 | 8,39 | 85,59 |
| 65 | 27/08/2018 | 03/09/2018 | 7 | 13,10 | 133,57 |
| 67 | 27/08/2018 | 10/09/2018 | 14 | 17,47 | 178,17 |
| 69 | 27/08/2018 | 17/09/2018 | 21 | 18,31 | 186,67 |
| 71 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 21,64 | 220,68 |

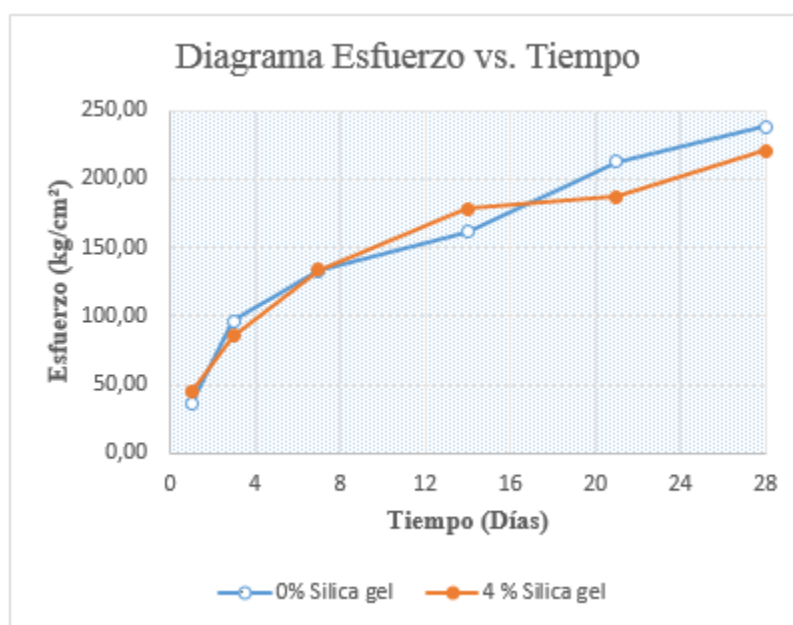


Figura 56 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 4 % Silica gel

5.1.5.7. Resistencia a la compresión de probetas con 5% Silica gel

Tabla 43

Ensayo de resistencia a la compresión en morteros con 0% de Silica gel a 1, 3, 7, 14, 21, 28 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (kg) | Carga (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|---------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|---------------|----------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 73 | 21/08/2018 | 22/08/2018 | 1 | 50,50 | 50,70 | 5,11 | 2560,35 | 251,7 | 10074 | 3,93 | 40,12 |
| 74 | 21/08/2018 | 22/08/2018 | 1 | 50,60 | 50,60 | 5,10 | 2560,36 | 251 | 101723 | 3,90 | 39,73 |
| 75 | 26/08/2018 | 31/08/2018 | 3 | 50,60 | 50,90 | 5,13 | 2575,54 | 263,6 | 205219 | 7,81 | 79,68 |
| 76 | 26/08/2018 | 31/08/2018 | 3 | 50,60 | 51,10 | 5,14 | 2585,66 | 264,2 | 202121 | 7,67 | 78,17 |
| 77 | 23/08/2018 | 30/08/2018 | 7 | 50,90 | 50,80 | 5,14 | 2585,72 | 265 | 328981 | 12,48 | 127,23 |
| 78 | 23/08/2018 | 30/08/2018 | 7 | 50,70 | 50,90 | 5,13 | 2580,63 | 267,4 | 333908 | 12,69 | 129,39 |
| 79 | 24/08/2018 | 06/09/2018 | 14 | 51,00 | 5,08 | 5,12 | 259,08 | 267,3 | 43958 | 16,64 | 169,67 |
| 80 | 24/08/2018 | 06/09/2018 | 14 | 51,10 | 5,08 | 5,11 | 259,59 | 264,2 | 44418 | 16,78 | 171,11 |
| 81 | 23/08/2018 | 13/09/2018 | 21 | 4,93 | 5,10 | 5,12 | 25,14 | 262,8 | 4926 | 19,21 | 195,93 |
| 82 | 23/08/2018 | 13/09/2018 | 21 | 50,70 | 5,08 | 5,13 | 257,56 | 264,8 | 50880 | 19,37 | 197,55 |
| 83 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 28 | 50,80 | 5,11 | 5,09 | 259,59 | 260,8 | 54044 | 20,42 | 208,19 |
| 84 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 28 | 50,50 | 5,10 | 5,10 | 257,55 | 261,8 | 53261 | 20,28 | 206,80 |

La Figura 57 nos indica que el mortero con 5% de Silica gel tiene valores inferiores de resistencia en las edades de 3, 7, 21 y 28 días en comparación con el mortero que no contiene sílice, mientras que a los 14 días la resistencia del mortero sin Silica gel es inferior. La diferencia de resistencia que tuvieron estos morteros a los 28 días es de aproximadamente 31 kg/cm².

Tabla 44

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 5% Silica gel

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 73 | 21/08/2018 | 22/08/2018 | 1 | 3,92 | 39,93 |
| 75 | 26/08/2018 | 31/08/2018 | 3 | 7,74 | 78,93 |
| 77 | 23/08/2018 | 30/08/2018 | 7 | 12,58 | 128,31 |
| 79 | 24/08/2018 | 06/09/2018 | 14 | 16,71 | 170,39 |
| 81 | 23/08/2018 | 13/09/2018 | 21 | 19,29 | 196,74 |
| 83 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 28 | 20,35 | 207,50 |

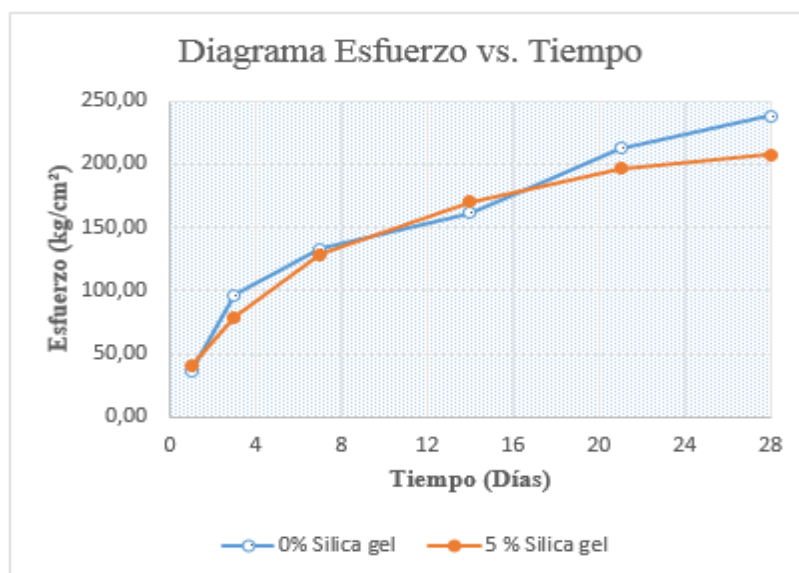


Figura 57 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 5 % Silica gel

Tabla 45

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel

| Resistencia Promedio a la compresión (kg/cm ²) | | | | | | | |
|--|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Edad (Días) | 0% Silica gel | 0,5% Silica gel | 1% Silica gel | 2% Silica gel | 3% Silica gel | 4% Silica gel | 5% Silica gel |
| 1 | 35,52 | 59,11 | 58,13 | 52,32 | 33,12 | 44,57 | 39,93 |
| 3 | 96,41 | 106,91 | 92,89 | 96,31 | 77,06 | 85,59 | 78,93 |
| 7 | 132,96 | 135,18 | 152,43 | 131,00 | 136,85 | 133,57 | 128,31 |
| 14 | 161,73 | 179,85 | 183,77 | 168,41 | 165,49 | 178,17 | 170,39 |
| 21 | 212,64 | 213,19 | 204,79 | 193,99 | 218,58 | 186,67 | 196,74 |
| 28 | 238,05 | 265,90 | 243,65 | 242,19 | 226,94 | 220,68 | 207,50 |

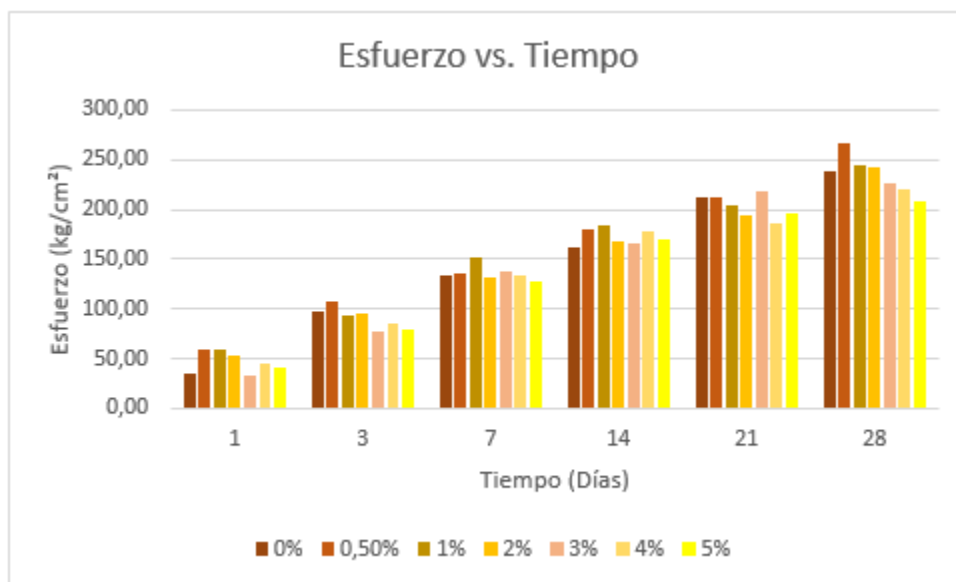


Figura 58 Diagrama resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel

Tabla 46

Resistencias promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel a los 28 días

| Muestra N° | Fecha elaboración | Fecha de rotura | Porcentaje Silica gel | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|---------------|----------------------|--------------------|--------------------------|----------------|-------------|-----------|-----------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|--|
| | | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | | | |
| 11 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 0,00% | 28 | 50,50 | 51,00 | 50,90 | 2575,50 | 260,80 | 60480 | 23,48 | 239,46 | 23,34 | 238,05 |
| 12 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 0,00% | 28 | 50,80 | 51,00 | 51,00 | 2590,80 | 261,80 | 60123 | 23,21 | 236,64 | | |
| 23 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 0,50% | 28 | 50,60 | 51,00 | 50,60 | 2580,60 | 264,8 | 67658 | 26,22 | 267,35 | 26,08 | 265,90 |
| 24 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 0,50% | 28 | 50,50 | 51,10 | 50,60 | 2580,55 | 264,4 | 66921 | 25,93 | 264,44 | | |
| 35 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 1,00% | 28 | 50,50 | 51,00 | 50,70 | 2575,50 | 262,5 | 61698 | 23,96 | 244,28 | 23,89 | 243,65 |
| 36 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 1,00% | 28 | 50,40 | 51,00 | 50,60 | 2570,40 | 262,9 | 61256 | 23,83 | 243,01 | | |
| 47 | 07/08/2018 | 04/09/2018 | 2,00% | 28 | 50,90 | 5,08 | 50,80 | 258,57 | 260,1 | 6119 | 23,67 | 241,32 | 23,75 | 242,19 |
| 48 | 07/08/2018 | 04/09/2018 | 2,00% | 28 | 50,70 | 50,70 | 50,90 | 2570,49 | 261 | 61268 | 23,84 | 243,05 | | |
| 59 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 3,00% | 28 | 50,80 | 50,80 | 51,00 | 2580,64 | 264,8 | 57387 | 22,24 | 226,76 | 22,26 | 226,94 |
| 60 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 3,00% | 28 | 50,70 | 50,70 | 51,10 | 2570,49 | 265,3 | 57252 | 22,27 | 227,12 | | |
| 71 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 4,00% | 28 | 50,70 | 51,00 | 51,10 | 2585,70 | 266,2 | 55644 | 21,52 | 219,44 | 21,64 | 220,68 |
| 72 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 4,00% | 28 | 50,60 | 51,10 | 51,00 | 2585,66 | 265,3 | 56272 | 21,76 | 221,92 | | |
| 83 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 5,00% | 28 | 50,80 | 51,10 | 50,90 | 2595,88 | 260,8 | 52999 | 20,42 | 208,19 | 20,35 | 207,50 |
| 84 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 5,00% | 28 | 50,50 | 51,00 | 51,00 | 2575,50 | 261,8 | 52232 | 20,28 | 206,80 | | |

En la Figura 59 se observa la diferencia que existe entre los valores de resistencia del mortero con 0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de sílice a las edades de 1, 3, 7, 14, 21, 28 días. Este análisis permitió definir que para superar la resistencia de los especímenes patrón se puede trabajar con porcentajes de sílice de 0.5%, 1% y 2%, mientras que al superar estos valores se va a obtener una resistencia más baja que la del mortero con 0% de sílice. Además, se observó que la mayor resistencia se obtuvo con el 0.5% de Silica gel con un valor de 265.90 kg/cm², determinando así que al aumentar el porcentaje de sílice la resistencia va disminuyendo.

Por esta razón se considera utilizar el 0.5% de sílice como porcentaje óptimo para la elaboración de morteros con residuos de cerámica sanitaria triturada y Silica gel.

Tabla 47

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel

| Muestra N° | Fecha elaboración | Fecha de rotura | Porcentaje Silica gel | Edad (Días) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|------------|-------------------|-----------------|-----------------------|-------------|-------------------|-----------------------------------|
| 11 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 0,00% | 28 | 23,34 | 238,05 |
| 23 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 0,50% | 28 | 26,08 | 265,90 |
| 35 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 1,00% | 28 | 23,89 | 243,65 |
| 47 | 07/08/2018 | 04/09/2018 | 2,00% | 28 | 23,75 | 242,19 |
| 59 | 14/08/2018 | 11/09/2018 | 3,00% | 28 | 22,26 | 226,94 |
| 71 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 4,00% | 28 | 21,64 | 220,68 |
| 83 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 5,00% | 28 | 20,35 | 207,50 |

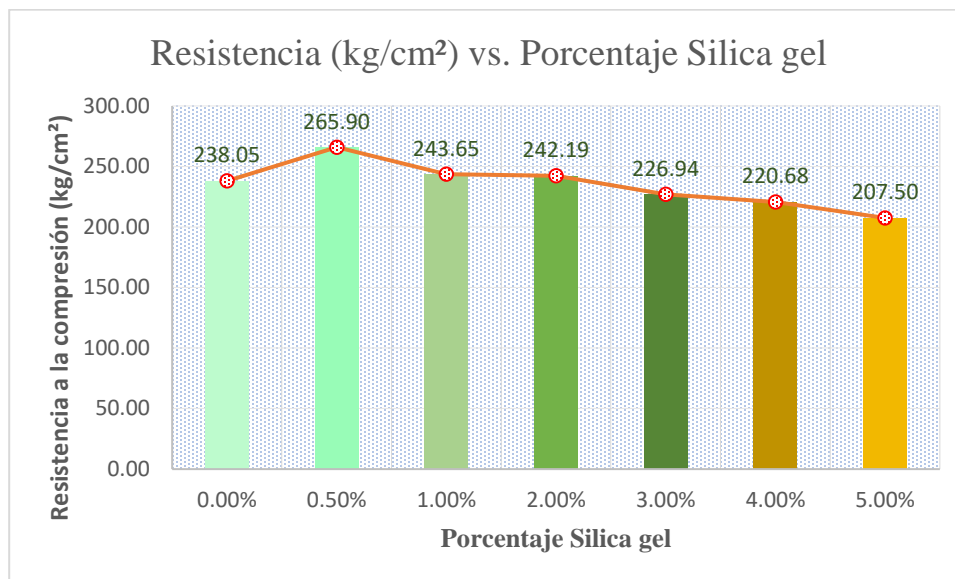


Figura 59 Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0% 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de Silica gel a los 28 días

5.2. Determinación de la resistencia a la flexión

5.2.1. Equipo

Según la norma NTE INEN 198 (2009) el equipo con el que se realizó el ensayo debe cumplir con las siguientes especificaciones:

- La carga debe aplicarse en la superficie del espécimen sin excentricidades.
- La dirección de las reacciones debe ser paralela a la dirección de la carga.
- La carga debe ser aplicada de forma que la velocidad sea uniforme y sin impactos.

5.2.2. Material

Para realizar el ensayo se necesitó de prismas de varias edades (1, 3, 7 y 28 días). Se debe secar la superficie con un paño seco y eliminar los granos sueltos.

5.2.3. Procedimiento

- Antes de comenzar el ensayo se debe revisar las caras de la probeta para comprobar que las superficies sean planas.
- Colocar el prisma sobre los rodillos de apoyo.
- Aplicar la carga verticalmente, en un punto equidistante a los puntos de apoyo y aumentar progresivamente a una velocidad de 50 ± 10 N/s.
- Registrar la carga de rotura y determinar la resistencia a la flexión.

5.2.4. Cálculo

La resistencia a la flexión se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$R_f = \frac{6M}{b^3} = 1.5 \frac{P_f * l}{b^3} \quad (13)$$

Donde:

R_f : Resistencia a la flexión, en MPa

M : Momento flector, en Nmm

b : Arista de la sección cuadrada del prisma, en mm

P_f : Carga de rotura a la flexión, en N

l : Distancia entre los apoyos, en mm



Figura 60 Muestras de mortero en moldes y ensayo a flexión



Figura 61 Probetas después del ensayo a flexión

5.2.5. Resultados del ensayo de resistencia a flexión

5.2.5.1. Resistencia a flexión en probetas con 0% Silica gel

Tabla 48

Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 0% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------------|--------------------|----------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 1 | 12/09/2018 | 13/09/2018 | 1 | 162,8 | 40,2 | 39,7 | 1,460 | 524,2 | 1,88 | 19,22 |
| 2 | 12/09/2018 | 13/09/2018 | 1 | 162,9 | 40,2 | 39,7 | 1,710 | 592,6 | 2,13 | 21,73 |
| 3 | 11/09/2018 | 14/09/2018 | 3 | 164,0 | 39,7 | 39,5 | 1,095 | 828,5 | 3,02 | 30,84 |
| 4 | 11/09/2018 | 14/09/2018 | 3 | 163,8 | 39,9 | 39,7 | 1,024 | 791,8 | 2,85 | 29,03 |
| 5 | 03/09/2018 | 10/09/2018 | 7 | 162,2 | 40,5 | 40,0 | 0,807 | 1049,0 | 3,69 | 37,61 |
| 6 | 03/09/2018 | 10/09/2018 | 7 | 162,0 | 40,0 | 39,7 | 0,974 | 1061,0 | 3,82 | 38,91 |
| 7 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 163,9 | 39,6 | 40,1 | 1,227 | 1504,0 | 5,25 | 53,52 |
| 8 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 164,3 | 39,5 | 40,0 | 1,104 | 1495,0 | 5,26 | 53,60 |

En la Figura 62 se puede observar el diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo del mortero sin silica gel, estos especímenes fueron ensayados siguiendo la especificaciones de la norma (NTE INEN 198, 2009). El módulo de rotura a los 28 días fue de 53.56 kg/cm².

Tabla 49

Resumen del módulo de rotura promedio de mortero con 0% Silica gel

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) |
|---|-----------------|-------------|---------------------------------|---|
| 1 | 13/09/2018 | 1 | 2,01 | 20,48 |
| 3 | 14/09/2018 | 3 | 2,94 | 29,94 |
| 5 | 10/09/2018 | 7 | 3,75 | 38,26 |
| 7 | 13/09/2018 | 28 | 5,25 | 53,56 |

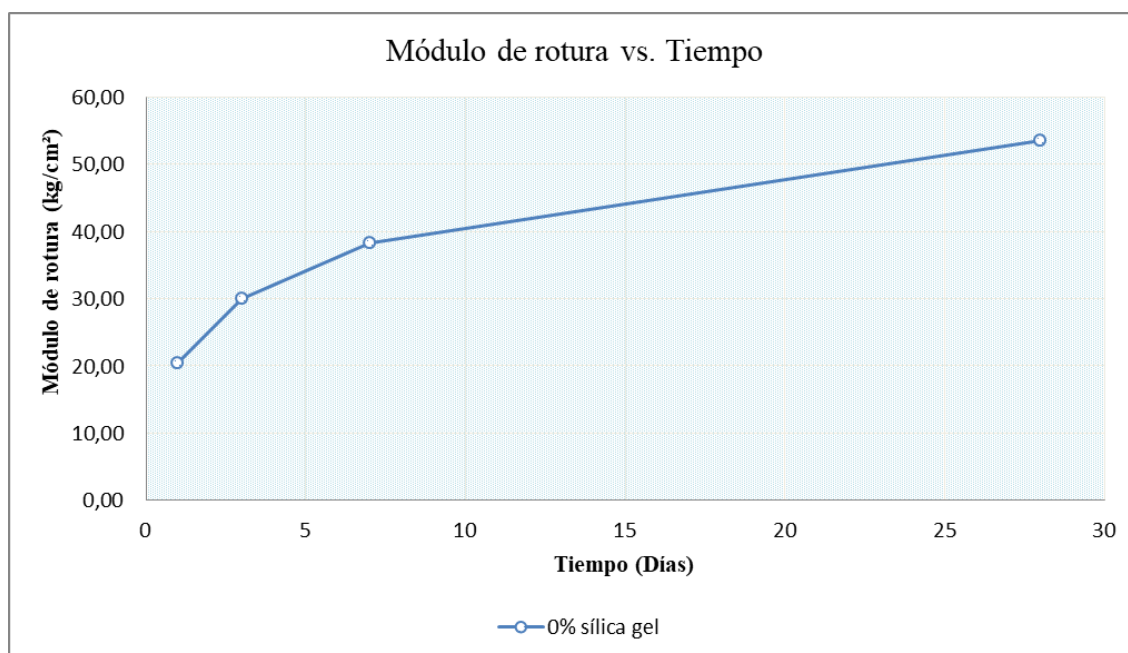


Figura 62 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0 % Silica gel

5.2.5.2. Resistencia a flexión en probetas con 0.5 % Silica gel

Tabla 50

Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 0.5% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------------------|-------------|--------------|---------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) Altura (mm) | | | | |
| 9 | 12/09/2018 | 13/09/2018 | 1 | 161,6 | 39,8 39,4 | 1,553 | 416,9 | 1,53 | 15,64 |
| 10 | 12/09/2018 | 13/09/2018 | 1 | 161,5 | 39,8 39,7 | 1,130 | 397,7 | 1,43 | 14,58 |
| 11 | 11/09/2018 | 14/09/2018 | 3 | 161,4 | 40,4 39,8 | 1,760 | 1007,0 | 3,59 | 36,65 |
| 12 | 11/09/2018 | 14/09/2018 | 3 | 161,7 | 40,6 39,7 | 1,719 | 907,6 | 3,26 | 33,28 |
| 13 | 03/09/2018 | 10/09/2018 | 7 | 164,2 | 39,9 41,0 | 1,161 | 1095,0 | 3,57 | 36,45 |
| 14 | 03/09/2018 | 10/09/2018 | 7 | 163,1 | 41,2 39,9 | 1,181 | 1273,0 | 4,51 | 45,98 |
| 15 | 20/08/2018 | 17/09/2018 | 28 | 164,3 | 40,2 39,8 | 1,388 | 1517,0 | 5,41 | 55,21 |
| 16 | 20/08/2018 | 17/09/2018 | 28 | 163,7 | 40,3 39,7 | 1,286 | 1637,0 | 5,89 | 60,03 |

En la Figura 63 se evidenció claramente que el módulo de rotura del mortero con 0.5% de sílice a los 28 días excede con 8% al módulo de rotura base, con un valor de 57.62 kg/cm². También se puede observar que a los 3 y 7 días el módulo de rotura esta sobre el valor de los especímenes piloto, mientras que a la edad de 1 día presenta una variación de 5,37 kg/cm².

Tabla 51

Resumen del módulo de rotura promedio de morteros con 0.5% Silica gel

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 9 | 13/09/2018 | 1 | 1,48 | 15,11 | 0,74 |
| 11 | 14/09/2018 | 3 | 3,43 | 34,96 | 1,17 |
| 13 | 10/09/2018 | 7 | 4,04 | 41,22 | 1,08 |
| 15 | 17/09/2018 | 28 | 5,65 | 57,62 | 1,08 |

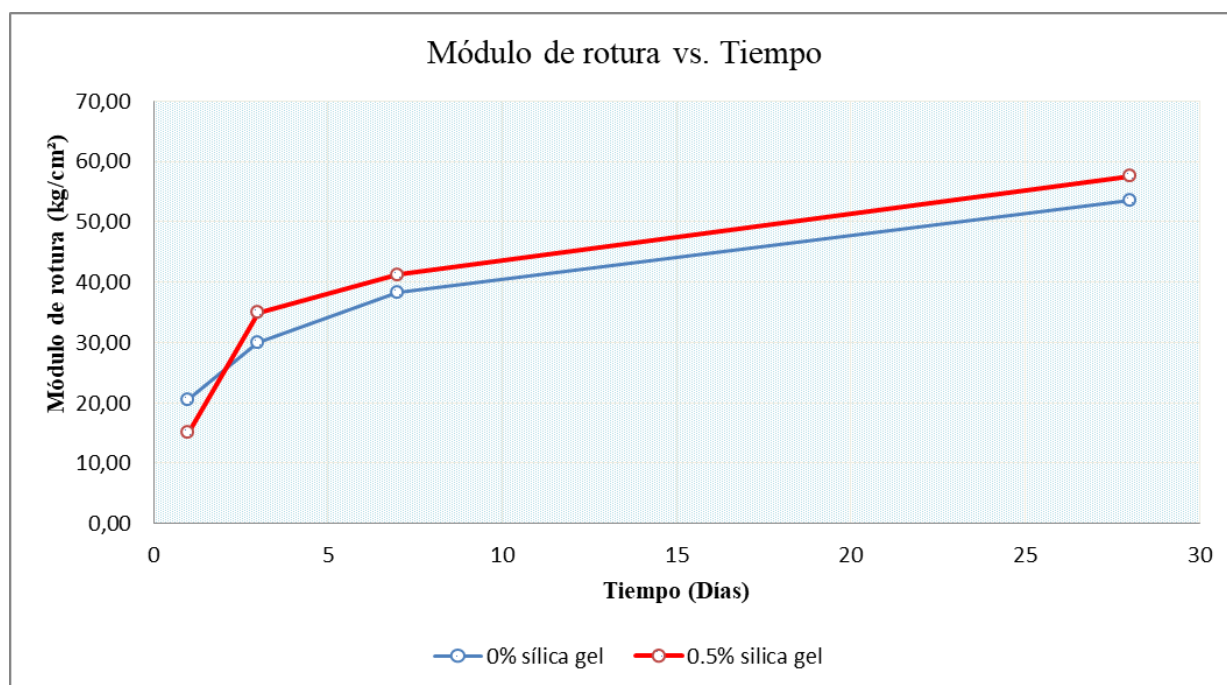


Figura 63 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 0.5 % Silica gel

5.2.5.3. Resistencia a flexión en probetas con 1 % Silica gel

Tabla 52

Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 1% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 17 | 13/09/2018 | 14/09/2018 | 1 | 161,6 | 40,1 | 39,7 | 1,450 | 358,7 | 1,29 | 13,15 |
| 18 | 13/09/2018 | 14/09/2018 | 1 | 162,0 | 40,1 | 39,8 | 1,103 | 390,5 | 1,39 | 14,21 |
| 19 | 17/09/2018 | 20/09/2018 | 3 | 162,3 | 40,0 | 39,7 | 1,110 | 830,4 | 2,99 | 30,45 |
| 20 | 17/09/2018 | 20/09/2018 | 3 | 162,1 | 39,6 | 39,7 | 1,174 | 796,1 | 2,86 | 29,19 |
| 21 | 06/09/2018 | 13/09/2018 | 7 | 161,5 | 40,1 | 39,8 | 1,472 | 1325,0 | 4,73 | 48,22 |
| 22 | 06/09/2018 | 13/09/2018 | 7 | 162,2 | 40,4 | 39,4 | 1,449 | 1234,0 | 4,54 | 46,29 |
| 23 | 21/08/2018 | 18/09/2018 | 28 | 160,8 | 40,6 | 39,8 | 1,025 | 1535,0 | 5,48 | 55,86 |
| 24 | 21/08/2018 | 18/09/2018 | 28 | 160,8 | 40,3 | 39,6 | 1,478 | 1395,0 | 5,05 | 51,54 |

Mediante la Figura 64 se puede determinar los valores de módulo de rotura del mortero a los 28 días, con 0% de sílice se obtiene 53.56 kg/cm² mientras que con 1% de sílice se tiene 53.70 kg/cm², demostrando así que existe una diferencia mínima. Esto también sucede a los 3 días dando como porcentaje de variación 0.004%.

Tabla 53

Resumen del módulo de rotura promedio de mortero con 1 % Silica

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 17 | 14/09/2018 | 1 | 1,34 | 13,68 | 0,67 |
| 19 | 20/09/2018 | 3 | 2,92 | 29,82 | 1,00 |
| 21 | 13/09/2018 | 7 | 4,63 | 47,26 | 1,24 |
| 23 | 18/09/2018 | 28 | 5,27 | 53,70 | 1,00 |

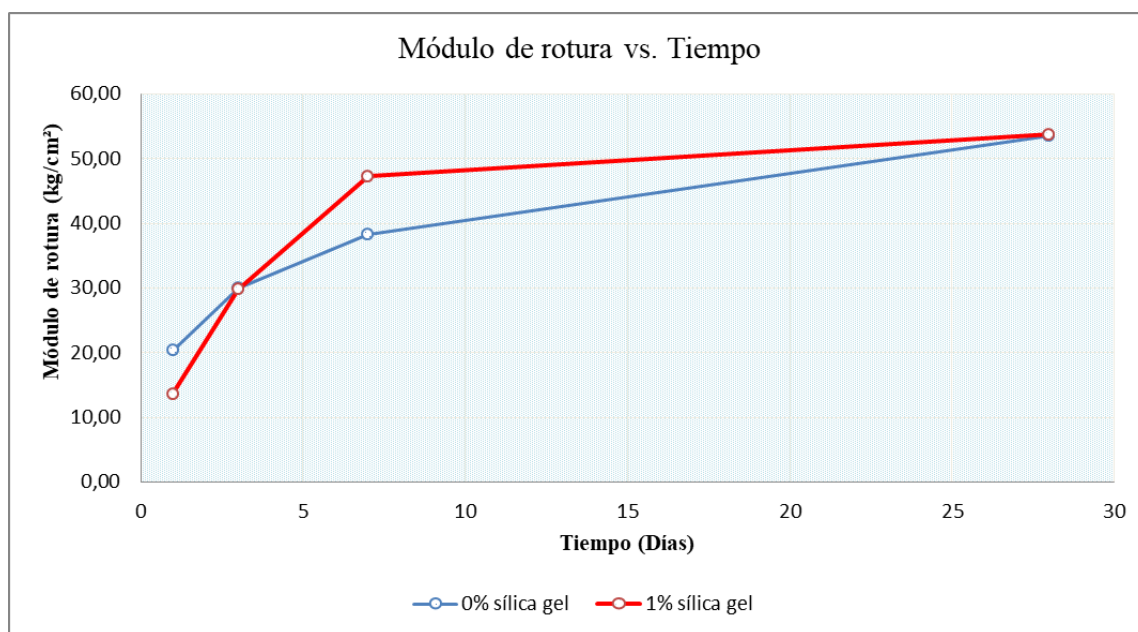


Figura 64 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 1 % Silica gel

5.2.5.4. Resistencia a flexión en probetas con 2 % Silica gel

Tabla 54

Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 2% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------------|--------------------|----------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 25 | 13/09/2018 | 14/09/2018 | 1 | 161,4 | 40,1 | 39,7 | 1,398 | 343,8 | 1,24 | 12,61 |
| 26 | 13/09/2018 | 14/09/2018 | 1 | 161,5 | 40,1 | 39,4 | 1,183 | 374,1 | 1,38 | 14,03 |
| 27 | 17/09/2018 | 20/09/2018 | 3 | 162,3 | 40,9 | 39,8 | 0,792 | 837,0 | 2,99 | 30,46 |
| 28 | 17/09/2018 | 20/09/2018 | 3 | 162,3 | 40,3 | 39,6 | 1,110 | 677,1 | 2,45 | 25,02 |
| 29 | 05/09/2018 | 12/09/2018 | 7 | 162,4 | 40,3 | 40,0 | 1,512 | 1261,0 | 4,43 | 45,21 |
| 30 | 05/09/2018 | 12/09/2018 | 7 | 162,1 | 40,6 | 39,8 | 1,528 | 1378,0 | 4,92 | 50,15 |
| 31 | 22/08/2018 | 19/09/2018 | 28 | 161,2 | 41,1 | 39,6 | 1,163 | 1524,0 | 5,52 | 56,31 |
| 32 | 22/08/2018 | 19/09/2018 | 28 | 160,9 | 40,6 | 39,7 | 1,330 | 1605,0 | 5,77 | 58,85 |

En la Tabla 55 se puede observar los valores de la diferencia porcentual entre módulo de rotura con sílice y sin sílice, en la que se obtuvo un valor de 1.08 a los 28 días, lo que nos indica que el valor de la resistencia del espécimen con 2% de sílice es mayor que la de 0% de sílice. La diferencia más grande de módulo de rotura se obtiene a la edad de 7 días con una variación de 9.42 kg/cm² (ver, Figura 65).

Tabla 55

Resumen del módulo de rotura promedio de mortero con 2 % Silica gel

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 25 | 14/09/2018 | 1 | 1,31 | 13,32 | 0,65 |
| 27 | 20/09/2018 | 3 | 2,72 | 27,74 | 0,93 |
| 29 | 12/09/2018 | 7 | 4,68 | 47,68 | 1,25 |
| 31 | 19/09/2018 | 28 | 5,65 | 57,58 | 1,08 |

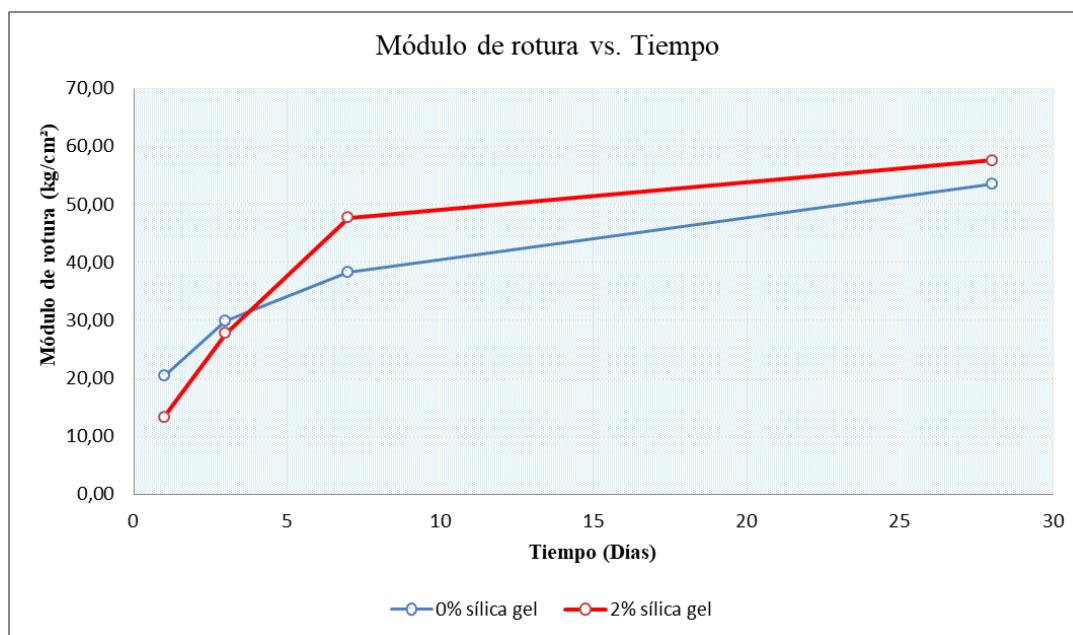


Figura 65 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 2 % Silica gel

5.2.5.5. Resistencia a flexión en probetas con 3 % Silica gel

Tabla 56

Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 3% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------------|--------------------|----------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|---------------------------|---|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 33 | 19/09/2018 | 20/09/2018 | 1 | 161,4 | 40,5 | 39,4 | 1,035 | 231,9 | 0,85 | 8,70 |
| 34 | 29/09/2018 | 20/09/2018 | 1 | 161,4 | 40,0 | 39,7 | 1,114 | 290,6 | 1,04 | 10,66 |
| 35 | 18/09/2018 | 21/09/2018 | 3 | 162,2 | 40,3 | 39,4 | 1,374 | 747,4 | 2,75 | 28,04 |
| 36 | 18/09/2018 | 21/09/2018 | 3 | 163,2 | 40,4 | 39,5 | 1,567 | 748,7 | 2,73 | 27,87 |
| 37 | 05/09/2018 | 12/09/2018 | 7 | 162,2 | 40,6 | 39,7 | 1,516 | 1135,0 | 4,08 | 41,62 |
| 38 | 05/09/2018 | 12/09/2018 | 7 | 162,0 | 40,0 | 39,8 | 1,656 | 1248,0 | 4,45 | 45,42 |
| 39 | 23/08/2018 | 20/09/2018 | 28 | 161,7 | 40,8 | 39,5 | 1,476 | 1724,0 | 6,29 | 64,18 |
| 40 | 23/08/2018 | 20/09/2018 | 28 | 161,8 | 41,0 | 39,8 | 1,288 | 1618,0 | 5,77 | 58,88 |

Mediante la Tabla 57 y Figura 66 se puede observar que el módulo de rotura a los 28 días del espécimen con 3% de sílice superó con un 15% al módulo de rotura del espécimen que no tiene sílice, con unos valores de 61.53 kg/cm² y 53.56 kg/cm².

Tabla 57

Resumen de módulo de rotura promedio de mortero con 3 % Silica

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 33 | 20/09/2018 | 1 | 0,95 | 9,68 | 0,47 |
| 35 | 21/09/2018 | 3 | 2,74 | 27,95 | 0,93 |
| 37 | 12/09/2018 | 7 | 4,27 | 43,52 | 1,14 |
| 39 | 20/09/2018 | 28 | 6,03 | 61,53 | 1,15 |

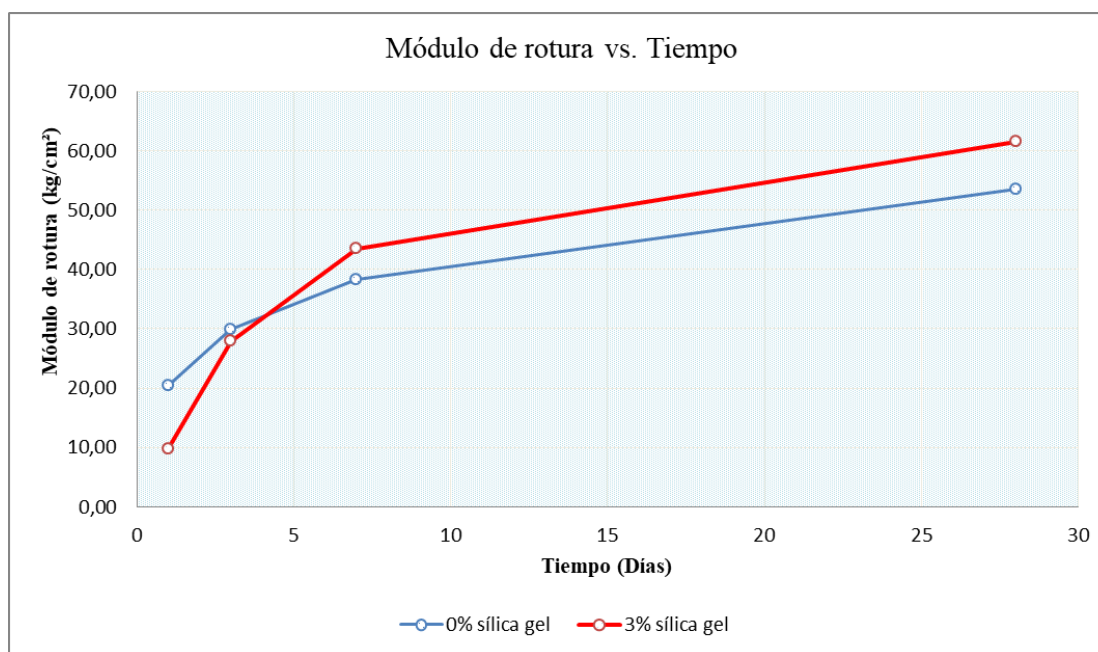


Figura 66 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 3 % Silica gel

5.2.5.6. Resistencia a flexión en probetas con 4 % Silica gel

Tabla 58

Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 4% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------------|--------------------|----------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------------|---------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 41 | 19/09/2018 | 20/09/2018 | 1 | 161,6 | 40,0 | 39,6 | 0,714 | 335,2 | 1,21 | 12,38 |
| 42 | 19/09/2018 | 20/09/2018 | 1 | 161,7 | 40,0 | 39,8 | 0,977 | 304,0 | 1,08 | 11,06 |
| 43 | 18/09/2018 | 21/09/2018 | 3 | 163,0 | 40,4 | 39,7 | 1,385 | 838,6 | 3,02 | 30,75 |
| 44 | 28/09/2018 | 21/09/2018 | 3 | 163,0 | 40,2 | 39,7 | 1,149 | 833,2 | 3,00 | 30,55 |
| 45 | 06/09/2018 | 13/09/2018 | 7 | 162,0 | 40,5 | 39,6 | 1,594 | 1279,0 | 4,63 | 47,26 |
| 46 | 06/09/2018 | 13/09/2018 | 7 | 162,0 | 41,2 | 39,6 | 1,412 | 1202,0 | 4,36 | 44,41 |
| 47 | 28/08/2018 | 25/09/2018 | 28 | 161,9 | 41,3 | 40,0 | 1,462 | 1378,0 | 4,84 | 49,40 |
| 48 | 28/08/2018 | 25/09/2018 | 28 | 161,4 | 41,4 | 40,0 | 1,308 | 1517,0 | 5,33 | 54,38 |

En la Figura 67 claramente se puede observar que el módulo de rotura del espécimen con 4% de sílice a la edad de 1 día presentó una disminución, mientras que a los 3 y 28 días se obtuvo una diferencia porcentual de 1.02%, siendo así que el valor a los 28 días es de 54,38 kg/cm², a los 7 días existió un incremento muy notorio con una variación de 7.57 kg/cm².

Tabla 59

Resumen de módulo de rotura promedio de mortero con 4 % Silica

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 41 | 20/09/2018 | 1 | 1,15 | 11,72 | 0,57 |
| 43 | 21/09/2018 | 3 | 3,01 | 30,65 | 1,02 |
| 45 | 13/09/2018 | 7 | 4,49 | 45,83 | 1,20 |
| 47 | 25/09/2018 | 28 | 5,33 | 54,38 | 1,02 |

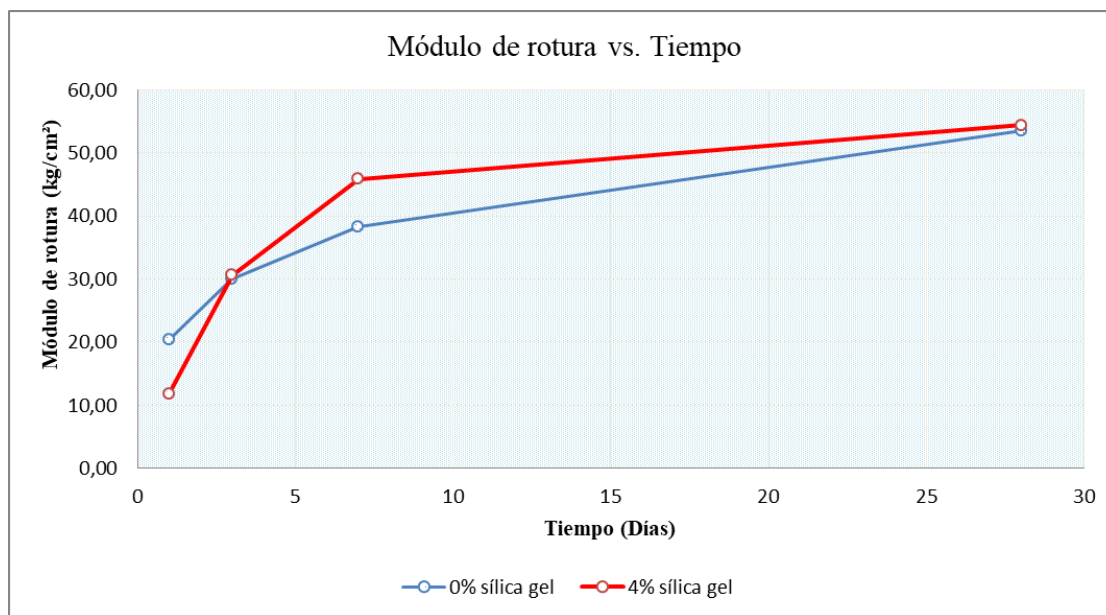


Figura 67 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 4 % Silica gel

5.2.5.7. Resistencia a flexión en probetas con 5 % Silica gel

Tabla 60

Ensayo de resistencia a la flexión en morteros con 5% de Silica gel a 1, 3, 7, 28 días

| N | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|----|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 49 | 20/09/2018 | 21/09/2018 | 1 | 162,0 | 40,0 | 39,8 | 1,247 | 310,9 | 1,11 | 11,31 |
| 50 | 20/09/2018 | 21/09/2018 | 1 | 162,1 | 40,0 | 39,8 | 1,139 | 302,5 | 1,08 | 11,01 |
| 51 | 10/09/2018 | 13/09/2018 | 3 | 161,6 | 41,0 | 39,6 | 1,384 | 959,2 | 3,48 | 35,44 |
| 52 | 10/09/2018 | 13/09/2018 | 3 | 161,5 | 41,1 | 39,7 | 1,309 | 814,8 | 2,93 | 29,88 |
| 53 | 10/09/2018 | 17/09/2018 | 7 | 161,2 | 41,0 | 39,8 | 0,911 | 1191,0 | 4,25 | 43,34 |
| 54 | 10/09/2018 | 17/09/2018 | 7 | 161,3 | 40,7 | 39,8 | 1,381 | 1217,0 | 4,34 | 44,29 |
| 55 | 29/08/2018 | 26/09/2018 | 28 | 161,4 | 40,2 | 39,8 | 1,670 | 1528,0 | 5,45 | 55,61 |
| 56 | 29/08/2018 | 26/09/2018 | 28 | 161,4 | 40,2 | 39,7 | 1,329 | 1531,0 | 5,51 | 56,14 |

En la Figura 68 se puede observar el aumento en el módulo de rotura cuando se utilizó 5% de sílice en el mortero, la diferencia porcentual entre el módulo de rotura con y sin sílice a los 28 días es de 1.04%, presentando así un aumento de aproximadamente 4% en el módulo de rotura.

Tabla 61

Resumen de módulo de rotura promedio de mortero con 5 % Silica

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | % Silica gel | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|--------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 49 | 21/09/2018 | 1 | 5,00% | 1,09 | 11,16 | 0,55 |
| 51 | 13/09/2018 | 3 | 5,00% | 3,48 | 35,44 | 1,18 |
| 53 | 17/09/2018 | 7 | 5,00% | 4,30 | 43,82 | 1,15 |
| 55 | 26/09/2018 | 28 | 5,00% | 5,48 | 55,87 | 1,04 |

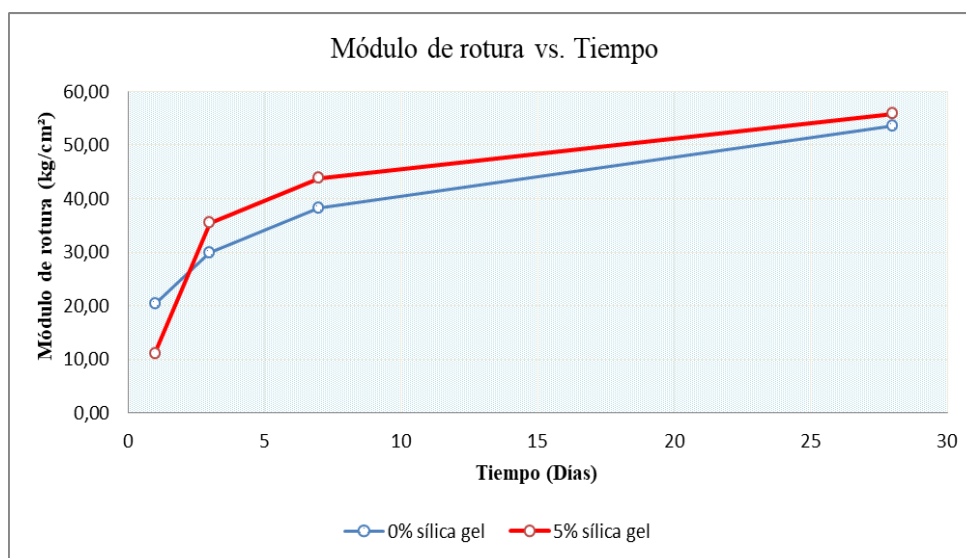


Figura 68 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de morteros con 0 % y 5 % Silica gel

Tabla 62*Diferencia porcentual del módulo de rotura*

| Día | Diferencia porcentual del módulo de rotura | | | | | | |
|-----|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 0% | 0.5% | 1% | 2% | 3% | 4% | 5% |
| 1 | 0,000 | 0,738 | 0,668 | 0,651 | 0,473 | 0,573 | 0,545 |
| 3 | 0,000 | 1,168 | 0,996 | 0,927 | 0,934 | 1,024 | 1,184 |
| 7 | 0,000 | 1,077 | 1,235 | 1,246 | 1,138 | 1,198 | 1,145 |
| 28 | 0,000 | 1,076 | 1,003 | 1,075 | 1,149 | 1,015 | 1,043 |

Tabla 63*Resumen del módulo de rotura promedio de morteros con 0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5% de sílica gel*

| Día | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | | | | | | |
|-----|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Sílica gel | | | | | | |
| | 0% | 0.5% | 1% | 2% | 3% | 4% | 5% |
| 1 | 20,476 | 15,111 | 13,682 | 13,320 | 9,677 | 11,724 | 11,162 |
| 3 | 29,939 | 34,964 | 29,821 | 27,739 | 27,955 | 30,651 | 35,439 |
| 7 | 38,256 | 41,216 | 47,255 | 47,678 | 43,518 | 45,833 | 43,817 |
| 28 | 53,555 | 57,617 | 53,702 | 57,580 | 61,532 | 54,384 | 55,874 |

En la Figura 69 se puede observar los diferentes valores del módulo de rotura, en la que se evidenció los cambios en la resistencia debido al incremento de sílice. Los especímenes a la edad de 1 días presentaron un módulo de rotura mayor cuando no contiene sílice, mientras que a los 28 días se identificó claramente que con un porcentaje de 3% de sílice el módulo de rotura es mayor.

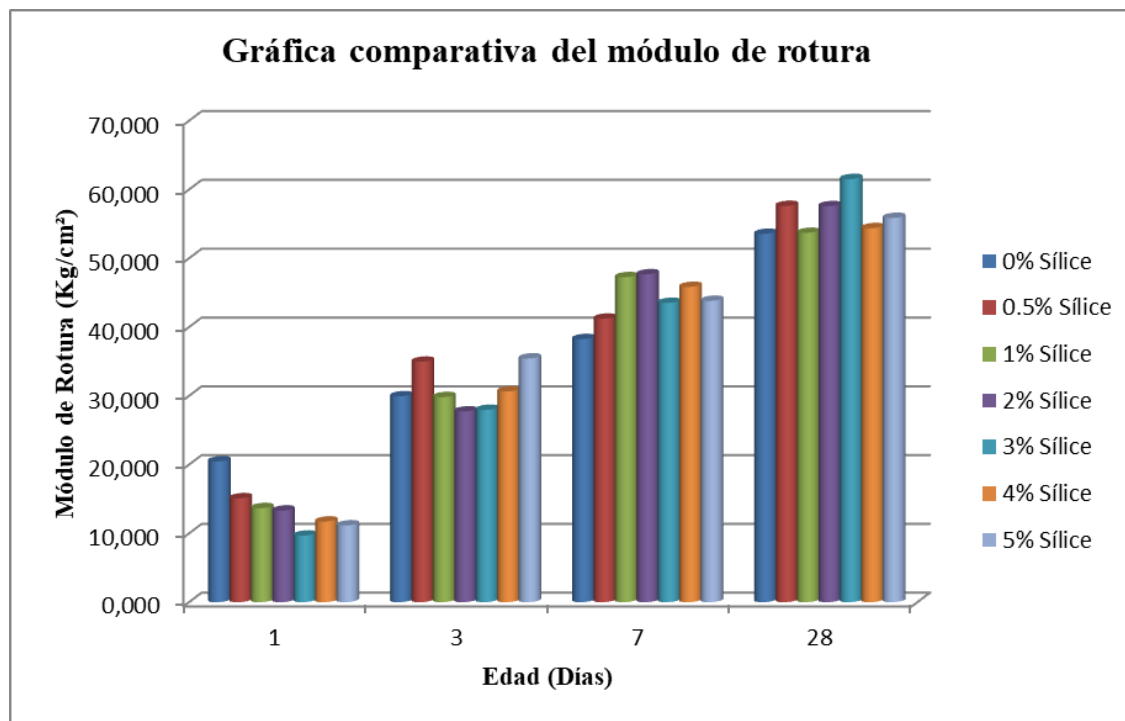


Figura 69 Gráfica comparativa del módulo de rotura promedio con diferentes porcentajes de sílice

A los 28 días todos módulos de rotura superaron al módulo de rotura base, los que tuvieron un mayor valor son de 61.53 kg/cm² con 3% de sílice, 57.62 kg/cm² con 0.5% de sílice y 57.58% con 2% de sílice, con una diferencia porcentual de 1.15, 1.08 y 1.07 respectivamente.

Tabla 64*Módulo de rotura promedio de morteros a los 28 días*

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura Promedio (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) | Módulo de rotura Promedio (kg/cm ²) |
|---------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|--|--|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | | | |
| 7 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 163,9 | 39,6 | 40,1 | 1,227 | 1504,0 | 5,25 | | 53,52 | |
| 8 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 28 | 164,3 | 39,5 | 40,0 | 1,104 | 1495,0 | 5,26 | 5,25 | 53,60 | 53,56 |
| 15 | 20/08/2018 | 17/09/2018 | 28 | 164,3 | 40,2 | 39,8 | 1,388 | 1517,0 | 5,41 | | 55,21 | |
| 16 | 20/08/2018 | 17/09/2018 | 28 | 163,7 | 40,3 | 39,7 | 1,286 | 1637,0 | 5,89 | 5,65 | 60,03 | 57,62 |
| 23 | 21/08/2018 | 18/09/2018 | 28 | 160,8 | 40,6 | 39,8 | 1,025 | 1535,0 | 5,48 | | 55,86 | |
| 24 | 21/08/2018 | 18/09/2018 | 28 | 160,8 | 40,3 | 39,6 | 1,478 | 1395,0 | 5,05 | 5,27 | 51,54 | 53,70 |
| 31 | 22/08/2018 | 19/09/2018 | 28 | 161,2 | 41,1 | 39,6 | 1,163 | 1524,0 | 5,52 | | 56,31 | |
| 32 | 22/08/2018 | 19/09/2018 | 28 | 160,9 | 40,6 | 39,7 | 1,330 | 1605,0 | 5,77 | 5,65 | 58,85 | 57,58 |
| 39 | 23/08/2018 | 20/09/2018 | 28 | 161,7 | 40,8 | 39,5 | 1,476 | 1724,0 | 6,29 | | 64,18 | |
| 40 | 23/08/2018 | 20/09/2018 | 28 | 161,8 | 41,0 | 39,8 | 1,288 | 1618,0 | 5,77 | 6,03 | 58,88 | 61,53 |
| 47 | 28/08/2018 | 25/09/2018 | 28 | 161,9 | 41,3 | 40,0 | 1,462 | 1378,0 | 4,84 | | 49,40 | |
| 48 | 28/08/2018 | 25/09/2018 | 28 | 161,4 | 41,4 | 40,0 | 1,308 | 1517,0 | 5,33 | 5,33 | 54,38 | 54,38 |
| 55 | 29/08/2018 | 26/09/2018 | 28 | 161,4 | 40,2 | 39,8 | 1,670 | 1528,0 | 5,45 | | 55,61 | |
| 56 | 29/08/2018 | 26/09/2018 | 28 | 161,4 | 40,2 | 39,7 | 1,329 | 1531,0 | 5,51 | 5,48 | 56,14 | 55,87 |

Tabla 65*Resumen de módulo de rotura promedio de morteros a los 28 días*

| Muestra N° | Fecha elaboración | Fecha de rotura | Porcentaje Silica gel | Edad (Días) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm²) |
|-------------------|--------------------------|------------------------|------------------------------|--------------------|-------------------------------|---|
| 7 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 0,00% | 28 | 5,25 | 53,56 |
| 15 | 20/08/2018 | 17/09/2018 | 0,50% | 28 | 5,65 | 57,62 |
| 23 | 21/08/2018 | 18/09/2018 | 1,00% | 28 | 5,27 | 53,70 |
| 31 | 22/08/2018 | 19/09/2018 | 2,00% | 28 | 5,65 | 57,58 |
| 39 | 23/08/2018 | 20/09/2018 | 3,00% | 28 | 6,03 | 61,53 |
| 47 | 28/08/2018 | 25/09/2018 | 4,00% | 28 | 5,33 | 54,38 |
| 55 | 29/08/2018 | 26/09/2018 | 5,00% | 28 | 5,48 | 55,87 |

En la Figura 70 se observa la diferencia que existió entre los valores de resistencia del mortero con 0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5% de sílice en las edades de 1, 3, 7 y 28 días. Además, se puede observar que a los 28 días la mayor resistencia se obtuvo con el 3% de Silica gel.

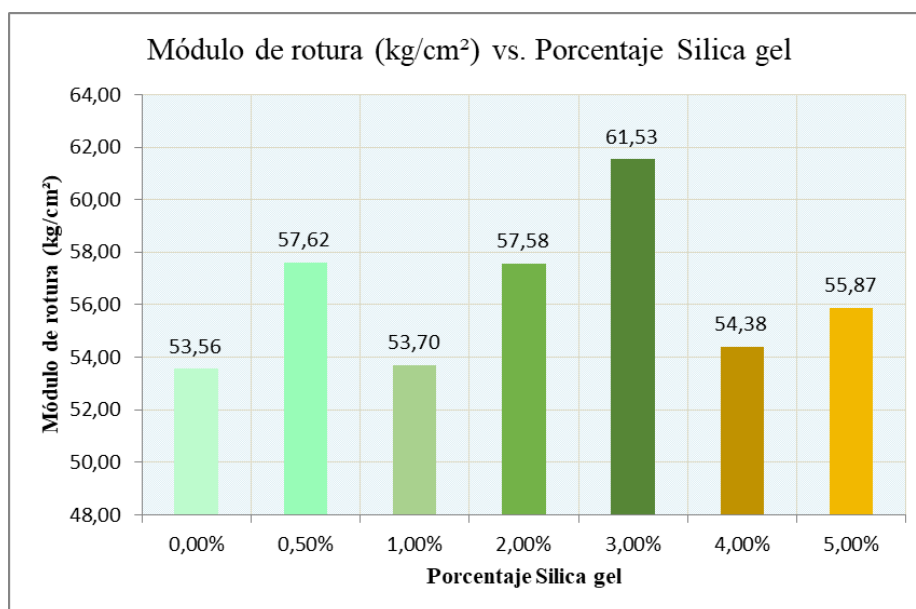


Figura 70 Comparación del módulo de rotura a los 28 días

Una vez decidido el porcentaje óptimo de silica gel (0.5%) se procedió a realizar ensayos de compresión y flexión a morteros cuyos materiales están compuestos por la dosificación indicada con anterioridad, además, de la adición de silica gel en diferentes tamaños de su partícula.

5.3. Ensayos a compresión de morteros con partículas de diferentes tamaños

5.3.1. Ensayo a compresión de mortero con 0.5 % Silica gel retenido en el Tamiz N° 270

Tabla 66

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 85 | 02/10/2018 | 17/08/2018 | 1 | 50,80 | 51,00 | 50,90 | 2590,80 | 256,4 | 15343 | 5,92 | 60,39 |
| 86 | 02/10/2018 | 17/08/2018 | 1 | 50,90 | 51,00 | 50,40 | 2595,90 | 255,9 | 16032 | 6,18 | 62,34 |
| Promedio | | | | | | | | | | 6,05 | 61,37 |

Tabla 67

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 3 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 87 | 02/10/2018 | 30/08/2018 | 3 | 51,00 | 51,00 | 51,00 | 2601,00 | 261,7 | 27946 | 10,74 | 109,56 |
| 88 | 02/10/2018 | 30/08/2018 | 3 | 51,00 | 51,00 | 50,00 | 2601,00 | 259,5 | 28792 | 11,07 | 112,88 |
| Promedio | | | | | | | | | | 10,91 | 111,22 |

Tabla 68

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 7 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 89 | 02/10/2018 | 29/08/2018 | 7 | 51,00 | 50,90 | 51,00 | 2595,90 | 269,4 | 36966 | 14,24 | 145,21 |
| 90 | 02/10/2018 | 29/08/2018 | 7 | 50,90 | 50,70 | 50,20 | 2580,63 | 261,9 | 37265 | 14,44 | 147,25 |
| Promedio | | | | | | | | | | 14,34 | 146,23 |

Tabla 69*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 14 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 91 | 27/09/2018 | 05/09/2018 | 14 | 50,80 | 51,10 | 50,40 | 2595,88 | 265,0 | 47182 | 18,18 | 185,34 |
| 92 | 27/09/2018 | 05/09/2018 | 14 | 50,90 | 51,20 | 50,30 | 2606,08 | 265,4 | 47579 | 18,26 | 186,17 |
| Promedio | | | | | | | | | | 18,22 | 185,76 |

Tabla 70*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 21 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 93 | 27/09/2018 | 12/09/2018 | 21 | 51,30 | 50,80 | 50,90 | 2606,04 | 265,9 | 57852 | 22,20 | 226,37 |
| 94 | 27/09/2018 | 12/09/2018 | 21 | 50,80 | 50,80 | 50,60 | 2580,64 | 265,5 | 57749 | 22,38 | 228,19 |
| Promedio | | | | | | | | | | 22,29 | 227,28 |

Tabla 71*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 28 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 95 | 27/09/2018 | 11/09/2018 | 28 | 50,80 | 51,20 | 51,50 | 2600,96 | 267,2 | 69289 | 26,64 | 271,65 |
| 96 | 27/09/2018 | 11/09/2018 | 28 | 50,70 | 50,90 | 50,30 | 2580,63 | 264,0 | 68826 | 26,67 | 271,96 |
| Promedio | | | | | | | | | | 26,65 | 271,81 |

Tabla 72

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% Silica gel y Tamaño de la partícula retenida en el Tamiz N° 270

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/mm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 85 | 02/10/2018 | 03/10/2018 | 1 | 6,02 | 61,37 |
| 87 | 02/10/2018 | 05/10/2018 | 3 | 10,91 | 111,22 |
| 89 | 02/10/2018 | 09/10/2018 | 7 | 14,34 | 146,23 |
| 91 | 27/09/2018 | 11/10/2018 | 14 | 18,22 | 185,76 |
| 93 | 27/09/2018 | 18/10/2018 | 21 | 22,29 | 227,28 |
| 95 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | 28 | 26,65 | 271,81 |

En la Figura 71 se puede visualizar que la resistencia del mortero con sílice es de 271.81 kg/cm² y sin sílice es de 238.05 kg/cm², mientras que el valor obtenido de una marca comercial es de 45.45 kg/cm² a los 28 días. Fácilmente se determinó que los morteros realizados con cerámica sanitaria reciclada sin y con sílice presentaron una resistencia superior.

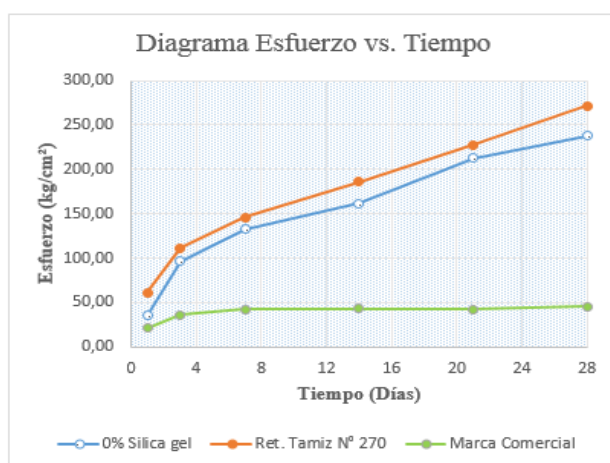


Figura 71 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz

N° 270

5.3.2. Ensayo a compresión de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325

Tabla 73

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 97 | 26/09/2018 | 17/058/2018 | 1 | 51,00 | 51,10 | 50,60 | 2606,10 | 259,1 | 16397 | 6,29 | 64,16 |
| 98 | 26/09/2018 | 17/058/2018 | 1 | 51,10 | 51,00 | 50,50 | 2606,10 | 258 | 16556 | 6,35 | 64,78 |
| Promedio | | | | | | | | | | 6,32 | 64,47 |

Tabla 74

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 3 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 99 | 01/10/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,80 | 51,00 | 50,30 | 2590,80 | 263,1 | 30153 | 11,64 | 118,68 |
| 100 | 01/10/2018 | 30/08/2018 | 3 | 50,70 | 50,70 | 50,80 | 2570,49 | 261,7 | 30068 | 11,70 | 119,28 |
| Promedio | | | | | | | | | | 11,67 | 118,98 |

Tabla 75

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 7 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 101 | 26/09/2018 | 27/08/2018 | 7 | 51,00 | 51,20 | 51,40 | 2611,20 | 264,2 | 40551 | 15,53 | 158,36 |
| 102 | 26/09/2018 | 27/08/2018 | 7 | 50,80 | 50,40 | 51,00 | 2560,32 | 264,1 | 39412 | 15,39 | 156,97 |
| Promedio | | | | | | | | | | 15,46 | 157,67 |

Tabla 76*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 14 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 103 | 26/09/2018 | 03/09/2018 | 14 | 50,60 | 51,20 | 50,20 | 2590,72 | 263,2 | 48922 | 18,88 | 192,56 |
| 104 | 26/09/2018 | 03/09/2018 | 14 | 50,60 | 50,90 | 51,00 | 2575,54 | 264,1 | 48350 | 18,77 | 191,43 |
| Promedio | | | | | | | | | | 18,83 | 192,00 |

Tabla 77*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 21 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 105 | 26/09/2018 | 10/09/2018 | 21 | 50,90 | 50,90 | 50,60 | 2590,81 | 264,2 | 61577 | 23,77 | 242,36 |
| 106 | 26/09/2018 | 10/09/2018 | 21 | 50,90 | 51,00 | 50,70 | 2595,90 | 265,2 | 61380 | 23,64 | 241,11 |
| Promedio | | | | | | | | | | 23,71 | 241,74 |

Tabla 78*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 28 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 107 | 26/09/2018 | 04/09/2018 | 28 | 50,70 | 50,90 | 50,70 | 2580,63 | 266,6 | 70795 | 27,43 | 279,74 |
| 108 | 26/09/2018 | 04/09/2018 | 28 | 51,00 | 51,00 | 50,50 | 2601,00 | 265,7 | 71002 | 27,30 | 278,36 |
| Promedio | | | | | | | | | | 27,37 | 279,05 |

La Figura 72 muestra la resistencia a la compresión del mortero con 0.5 % de sílice con un tamaño de partícula retenida en el tamiz N° 325 con un valor de 279.05 kg/cm² superior a las resistencia que presentó el mortero patrón con un valor de 238.05 kg/cm² a los 28 días. Mediante los resultados obtenidos se puede observar que a ninguna edad la resistencia del mortero con sílice presentó una disminución en relación al mortero base, mientras que el mortero de marca comercial tuvo resistencias muy bajas.

Tabla 79

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% Silica gel y Tamaño de la partícula retenida en el Tamiz N° 325

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 97 | 26/09/2018 | 27/09/2018 | 1 | 6,32 | 64,47 |
| 99 | 01/10/2018 | 04/10/2018 | 3 | 11,67 | 118,98 |
| 101 | 26/09/2018 | 03/10/2018 | 7 | 15,46 | 157,67 |
| 103 | 26/09/2018 | 10/10/2018 | 14 | 18,83 | 192,00 |
| 105 | 26/09/2018 | 17/10/2018 | 21 | 23,71 | 241,74 |
| 107 | 26/09/2018 | 24/10/2018 | 28 | 27,37 | 279,05 |

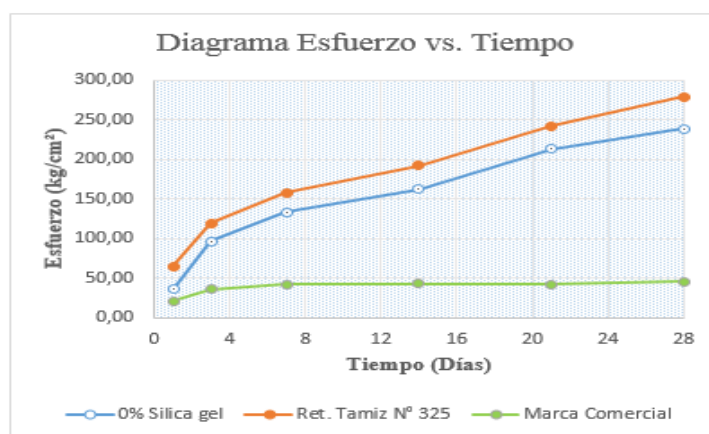


Figura 72 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz

N° 325

5.3.3. Ensayo a compresión de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400

Tabla 80

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 109 | 02/10/2018 | 23/08/2018 | 1 | 50,70 | 50,80 | 50,70 | 2575,56 | 257,3 | 13624 | 5,29 | 53,94 |
| 110 | 02/10/2018 | 23/08/2018 | 1 | 50,70 | 50,70 | 50,80 | 2570,49 | 258,7 | 13191 | 5,13 | 52,33 |
| Promedio | | | | | | | | | 5,21 | 53,14 | |

Tabla 81

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 3 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 111 | 02/10/2018 | 29/08/2018 | 3 | 50,80 | 50,80 | 50,50 | 2580,64 | 262,7 | 31331 | 12,14 | 123,80 |
| 112 | 02/10/2018 | 29/08/2018 | 3 | 51,00 | 51,10 | 50,70 | 2606,10 | 263,7 | 31755 | 12,18 | 124,25 |
| Promedio | | | | | | | | | 12,16 | 124,03 | |

Tabla 82

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 7 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 113 | 02/10/2018 | 29/08/2018 | 7 | 51,00 | 50,80 | 50,70 | 2590,80 | 264,4 | 41848 | 16,15 | 164,71 |
| 114 | 02/10/2018 | 29/08/2018 | 7 | 50,90 | 50,50 | 50,80 | 2570,45 | 264,3 | 41502 | 16,15 | 164,64 |
| Promedio | | | | | | | | | 16,15 | 164,68 | |

Tabla 83*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 14 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 115 | 27/09/2018 | 05/09/2018 | 14 | 51,00 | 50,90 | 50,40 | 2595,90 | 262 | 51199 | 19,72 | 201,12 |
| 116 | 27/09/2018 | 05/09/2018 | 14 | 50,80 | 51,00 | 50,80 | 2590,80 | 263,3 | 51325 | 19,81 | 202,01 |
| Promedio | | | | | | | | | | 19,77 | 201,57 |

Tabla 84*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 21 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 117 | 27/09/2018 | 12/09/2018 | 21 | 50,80 | 50,80 | 50,70 | 2580,64 | 261,2 | 62008 | 24,03 | 245,02 |
| 118 | 27/09/2018 | 12/09/2018 | 21 | 50,70 | 50,80 | 50,60 | 2575,56 | 260,3 | 61803 | 24,00 | 244,69 |
| Promedio | | | | | | | | | | 24,01 | 244,86 |

Tabla 85*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 28 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 119 | 27/09/2018 | 11/09/2018 | 28 | 51,10 | 50,50 | 50,00 | 2580,55 | 260 | 71878 | 27,85 | 284,03 |
| 120 | 27/09/2018 | 11/09/2018 | 28 | 51,20 | 50,80 | 49,80 | 2600,96 | 258,9 | 72431 | 27,85 | 283,97 |
| Promedio | | | | | | | | | | 27,85 | 284,00 |

En lo que se refiere a la resistencia a compresión del mortero con partículas retenidas en el tamiz N° 400 se puede decir que presentó una resistencia mayor a la resistencia del mortero sin sílice con valores de 284.00 kg/cm² y 238.05 kg/cm² respectivamente. La diferencia porcentual que se tuvo entre el mortero con sílice en referencia al mortero comercial es de 5.94%, lo que indica que la resistencia de ese mortero fue aproximadamente 6 veces más baja a los 28 días (ver, Figura 73)

Tabla 86

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% Silica gel y Tamaño de la partícula retenida en el Tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 109 | 02/10/2018 | 03/10/2018 | 1 | 5,21 | 53,14 |
| 111 | 02/10/2018 | 05/10/2018 | 3 | 12,16 | 124,03 |
| 113 | 02/10/2018 | 09/10/2018 | 7 | 16,15 | 164,68 |
| 115 | 27/09/2018 | 11/10/2018 | 14 | 19,77 | 201,57 |
| 117 | 27/09/2018 | 18/10/2018 | 21 | 24,01 | 244,86 |
| 119 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | 28 | 27,85 | 284,00 |

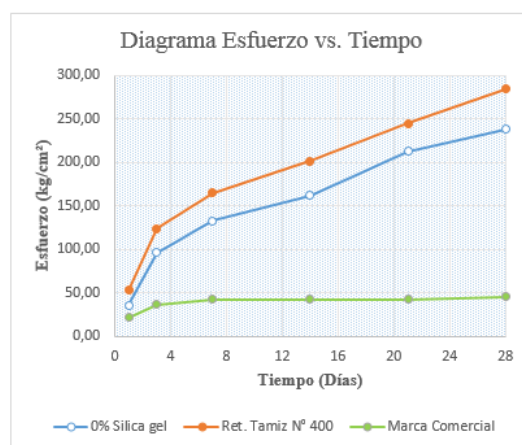


Figura 73 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz

N° 400

5.3.4. Ensayo a compresión de mortero con 0.5 % Silica gel pasante del Tamiz N°400

Tabla 87

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 121 | 01/10/2018 | 22/08/2018 | 1 | 50,80 | 50,90 | 50,80 | 2585,72 | 257,7 | 10833 | 4,19 | 42,72 |
| 122 | 01/10/2018 | 22/08/2018 | 1 | 50,80 | 51,20 | 51,00 | 2600,96 | 255,1 | 10172 | 3,91 | 39,88 |
| Promedio | | | | | | | | | | 4,05 | 41,30 |

Tabla 88

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 3 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 123 | 01/10/2018 | 31/08/2018 | 3 | 50,80 | 50,80 | 51,10 | 2580,64 | 262,3 | 32624 | 12,64 | 128,91 |
| 124 | 01/10/2018 | 31/08/2018 | 3 | 50,80 | 50,70 | 50,40 | 2575,56 | 261,1 | 32587 | 12,65 | 129,02 |
| Promedio | | | | | | | | | | 12,65 | 128,97 |

Tabla 89

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 7 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 125 | 03/10/2018 | 03/09/2018 | 7 | 50,60 | 50,90 | 50,60 | 2575,54 | 263,8 | 43198 | 16,77 | 171,03 |
| 126 | 03/10/2018 | 03/09/2018 | 7 | 50,70 | 50,60 | 50,50 | 2565,42 | 262,6 | 43297 | 16,88 | 172,10 |
| Promedio | | | | | | | | | | 16,82 | 171,57 |

Tabla 90*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 14 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 127 | 01/10/2018 | 10/09/2018 | 14 | 50,70 | 51,10 | 51,20 | 2590,77 | 266,2 | 53321 | 20,58 | 209,87 |
| 128 | 01/10/2018 | 10/09/2018 | 14 | 50,60 | 51,00 | 50,70 | 2580,60 | 263,0 | 53484 | 20,73 | 211,34 |
| Promedio | | | | | | | | | | 20,65 | 210,61 |

Tabla 91*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 21 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 129 | 01/10/2018 | 17/09/2018 | 21 | 51,40 | 51,00 | 50,90 | 2621,40 | 266,3 | 63641 | 24,28 | 247,56 |
| 130 | 01/10/2018 | 17/09/2018 | 21 | 51,20 | 51,10 | 51,20 | 2616,32 | 264,9 | 63358 | 24,22 | 246,94 |
| Promedio | | | | | | | | | | 24,25 | 247,25 |

Tabla 92*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero en 28 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|----------------------|-----------------|-------------|-------------|--------|--------|-------------------------|----------|-----------|-------------------|-----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 131 | 01/10/2018 | 13/09/2018 | 28 | 50,80 | 50,80 | 50,10 | 2580,64 | 263,0 | 72863 | 28,23 | 287,91 |
| 132 | 01/10/2018 | 13/09/2018 | 28 | 50,60 | 50,80 | 50,40 | 2570,48 | 262,4 | 72684 | 28,28 | 288,34 |
| Promedio | | | | | | | | | | 28,26 | 288,13 |

Mediante los resultados obtenidos a partir del ensayo a compresión se puede decir que el mortero con 0.5% de sílice (pasante N° 400) presentó una variación porcentual de 1.21% con respecto al mortero sin sílice y 6.34% en relación al mortero comercial a los 28 días. En la Figura 74 se puede observar que la curva que pertenece al mortero con sílice siempre está sobre las curvas tanto del mortero sin sílice como del mortero comercial.

Tabla 93

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% Silica gel y Tamaño de la partícula pasantes del Tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 121 | 01/10/2018 | 02/10/2018 | 1 | 4,05 | 41,30 |
| 123 | 01/10/2018 | 04/10/2018 | 3 | 12,65 | 128,97 |
| 125 | 03/10/2018 | 10/10/2018 | 7 | 16,82 | 171,57 |
| 127 | 01/10/2018 | 15/10/2018 | 14 | 20,65 | 210,61 |
| 129 | 01/10/2018 | 22/10/2018 | 21 | 24,25 | 247,25 |
| 131 | 01/10/2018 | 29/10/2018 | 28 | 28,26 | 288,13 |

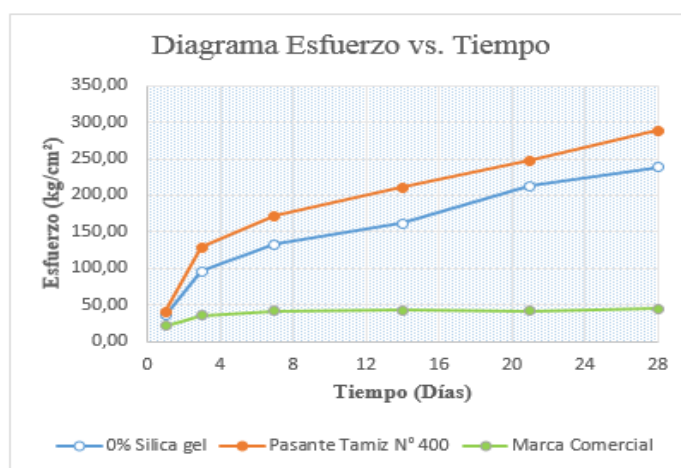


Figura 74 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N°

400

5.3.5. Ensayo a compresión de mortero de marca comercial

Tabla 94

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 1 día

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 133 | 25/09/2018 | 22/08/2018 | 1 | 51,00 | 50,80 | 51,20 | 2590,80 | 240,5 | 55314 | 2,09 | 21,35 |
| 134 | 25/09/2018 | 22/08/2018 | 1 | 50,70 | 50,40 | 51,20 | 2555,28 | 236,1 | 54964 | 2,11 | 21,51 |
| Promedio | | | | | | | | | | 2,10 | 21,43 |

Tabla 95

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 3 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 135 | 25/09/2018 | 31/08/2018 | 3 | 50,70 | 50,80 | 50,90 | 2575,56 | 234,2 | 92746 | 3,53 | 36,01 |
| 136 | 25/09/2018 | 31/08/2018 | 3 | 50,80 | 51,00 | 51,10 | 2590,80 | 250,2 | 94331 | 3,57 | 36,41 |
| Promedio | | | | | | | | | | 3,55 | 36,21 |

Tabla 96

Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 7 días

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 137 | 25/09/2018 | 30/08/2018 | 7 | 50,80 | 51,60 | 50,50 | 2621,28 | 236,7 | 110015 | 4,12 | 41,97 |
| 138 | 25/09/2018 | 30/08/2018 | 7 | 50,80 | 50,90 | 50,40 | 2585,72 | 234,9 | 109583 | 4,16 | 42,38 |
| Promedio | | | | | | | | | | 4,14 | 42,18 |

Tabla 97*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 14 días*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 139 | 25/09/2018 | 06/09/2018 | 14 | 50,90 | 51,20 | 50,60 | 2606,08 | 234,8 | 110993 | 4,18 | 42,59 |
| 140 | 25/09/2018 | 06/09/2018 | 14 | 51,00 | 51,00 | 50,60 | 2601,00 | 229,7 | 112155 | 4,23 | 43,12 |
| Promedio | | | | | | | | | | 4,20 | 42,86 |

Tabla 98*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 21 días*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 141 | 25/09/2018 | 13/09/2018 | 21 | 50,60 | 51,00 | 50,60 | 2580,60 | 235,3 | 109830 | 4,17 | 42,56 |
| 142 | 25/09/2018 | 13/09/2018 | 21 | 50,90 | 51,00 | 51,10 | 2595,90 | 236,2 | 109677 | 4,14 | 42,25 |
| Promedio | | | | | | | | | | 4,16 | 42,41 |

Tabla 99*Ensayo de resistencia a la compresión en mortero marca comercial en 28 días*

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Área (mm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) |
|-----------------|-------------------------|--------------------|----------------|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | |
| 143 | 25/09/2018 | 12/09/2018 | 28 | 51,00 | 51,40 | 50,60 | 2621,40 | 241,2 | 121004 | 4,53 | 46,16 |
| 144 | 25/09/2018 | 12/09/2018 | 28 | 51,10 | 51,50 | 50,40 | 2631,65 | 239,1 | 117714 | 4,39 | 44,73 |
| Promedio | | | | | | | | | | 4,46 | 45,45 |

Los resultados presentados en la Tabla 100 indican que el mortero de marca comercial presentó resistencias de 21.43 kg/cm² y 45.45 kg/cm² lo que representa aproximadamente el doble de la resistencia a las edades de 1 y 28 días respectivamente. La diferencia porcentual del mortero de marca comercial en relación al mortero sin sílice es de 0.19%, lo que significa que este mortero tiene una disminución del 80% en relación a los especímenes sin sílice.

Tabla 100

Resumen de la resistencia promedio de morteros marca comercial

| Muestra N° | Fecha de elaboración | Fecha de rotura | Edad (Días) | Resistencia Promedio (MPa) | Resistencia Promedio (kg/cm ²) |
|------------|----------------------|-----------------|-------------|----------------------------|--|
| 133 | 25/09/2018 | 26/09/2018 | 1 | 2,10 | 21,43 |
| 135 | 25/09/2018 | 28/09/2018 | 3 | 3,55 | 36,21 |
| 137 | 25/09/2018 | 02/10/2018 | 7 | 4,14 | 42,18 |
| 139 | 25/09/2018 | 09/10/2018 | 14 | 4,20 | 42,86 |
| 141 | 25/09/2018 | 16/10/2018 | 21 | 4,16 | 42,41 |
| 143 | 25/09/2018 | 23/10/2018 | 28 | 4,46 | 45,45 |

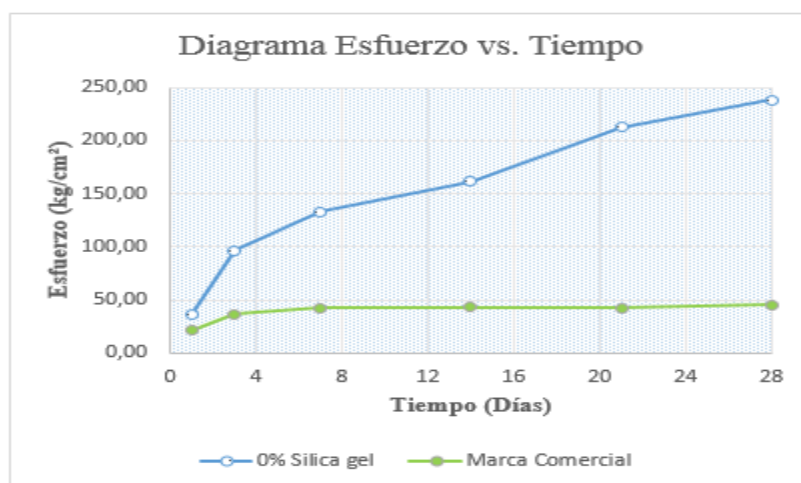


Figura 75 Diagrama Esfuerzo vs. Tiempo de mortero marca comercial

Tabla 101

Resumen de la resistencia promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial

| Edad (Días) | Marca Comercial | 0% Silica gel | 0,5% Silica gel | | | | | Pasante N° 400 |
|-------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|--------|----------------|
| | | | Ret. N° 200 | Ret. N° 270 | Ret. N° 325 | Ret. N° 400 | | |
| 1 | 21,43 | 35,52 | 59,11 | 61,37 | 64,47 | 53,14 | 41,30 | |
| 3 | 36,21 | 96,41 | 106,91 | 111,22 | 118,98 | 124,03 | 128,97 | |
| 7 | 42,18 | 132,96 | 135,18 | 146,23 | 157,67 | 164,68 | 171,57 | |
| 14 | 42,86 | 161,73 | 179,85 | 185,76 | 192,00 | 201,57 | 210,61 | |
| 21 | 42,41 | 212,64 | 213,19 | 227,28 | 241,74 | 244,86 | 247,25 | |
| 28 | 45,45 | 238,05 | 265,90 | 271,81 | 279,05 | 284,00 | 288,13 | |

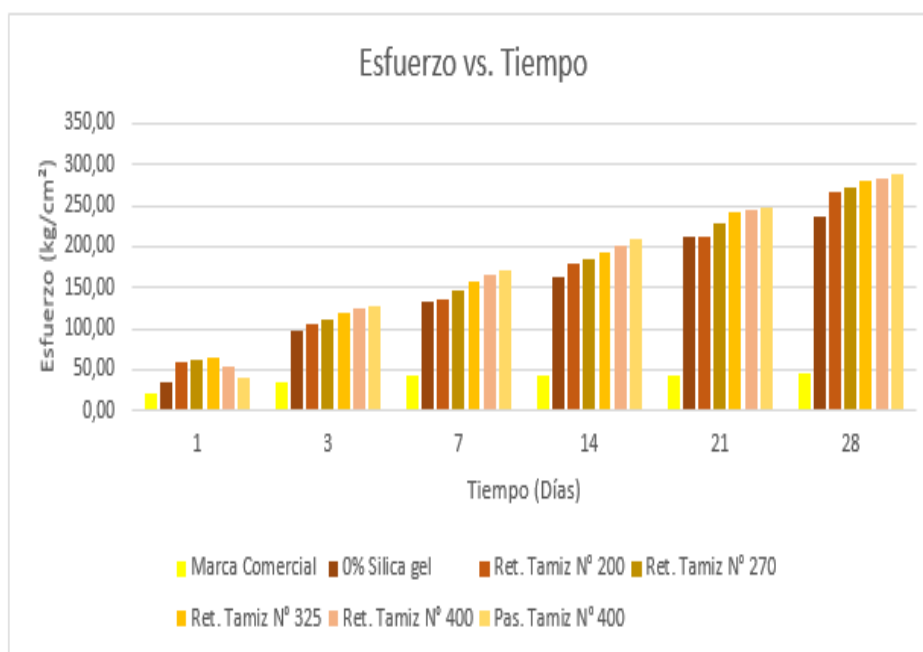


Figura 76 Diagrama de la resistencia promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial

Tabla 102

Resistencia promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial a los 28 días

| Muestra N° | Fecha elaboración | Fecha de rotura | Tamaño Partícula de Silica gel | Dimensiones | | | Área (cm ²) | Peso (g) | Carga (N) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm ²) | Resistencia Promedio (MPa) |
|---------------|----------------------|--------------------|---|-------------|--------|--------|----------------------------|-------------|--------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------------|
| | | | | a (mm) | b (mm) | c (mm) | | | | | | |
| 143 | 25/09/2018 | 23/10/2018 | Marca Comercial | 51,00 | 51,40 | 50,60 | 2621,40 | 260,80 | 11866 | 4,53 | 46,16 | 4,46 |
| 144 | 25/09/2018 | 23/10/2018 | Marca Comercial | 51,10 | 51,50 | 50,40 | 2631,65 | 261,80 | 11544 | 4,39 | 44,73 | |
| 11 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 0% Silica gel | 50,50 | 51,00 | 50,90 | 2575,50 | 264,8 | 60480 | 23,48 | 239,46 | 23,34 |
| 12 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 0% Silica gel | 50,80 | 51,00 | 51,00 | 2590,80 | 264,4 | 60123 | 23,21 | 236,64 | |
| 23 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | Ret. N° 200 | 50,60 | 51,00 | 50,60 | 2580,60 | 262,5 | 67658 | 26,22 | 267,35 | 26,08 |
| 24 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | Ret. N° 200 | 50,50 | 51,10 | 50,60 | 2580,55 | 262,9 | 66921 | 25,93 | 264,44 | |
| 95 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | Ret. N° 270 | 50,80 | 51,20 | 51,50 | 2600,96 | 260,1 | 69289 | 26,64 | 271,65 | 26,65 |
| 96 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | Ret. N° 270 | 50,70 | 50,90 | 50,30 | 2580,63 | 261 | 68826 | 26,67 | 271,96 | |
| 107 | 26/09/2018 | 24/10/2018 | Ret. N° 325 | 50,70 | 50,90 | 50,70 | 2580,63 | 264,8 | 70795 | 27,43 | 279,74 | 27,37 |
| 108 | 26/09/2018 | 24/10/2018 | Ret. N° 325 | 51,00 | 51,00 | 50,50 | 2601,00 | 265,3 | 71002 | 27,30 | 278,36 | |
| 119 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | Ret. N° 400 | 51,10 | 50,50 | 50,00 | 2580,55 | 266,2 | 71878 | 27,85 | 284,03 | 27,85 |
| 120 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | Ret. N° 400 | 51,20 | 50,80 | 49,80 | 2600,96 | 265,3 | 72431 | 27,85 | 283,97 | |
| 131 | 01/10/2018 | 29/10/2018 | Pas. N° 400 | 50,80 | 50,80 | 50,10 | 2580,64 | 260,8 | 72863 | 28,23 | 287,91 | 28,26 |
| 132 | 01/10/2018 | 29/10/2018 | Pas. N° 400 | 50,60 | 50,80 | 50,40 | 2570,48 | 261,8 | 72684 | 28,28 | 288,34 | |

Mediante los resultados obtenidos (ver, Tabla 103) a partir de los ensayos realizados, se determinó que mientras las partículas de silica gel presentan un tamaño más reducido la resistencia a la compresión va aumentando (ver, Figura 77). También se definió que el mortero de marca comercial no tiene la resistencia requerida por la norma para morteros de mampostería NTE INEN 2 518 (2010), puesto que esta es de 175.39 kg/cm^2 (17.2 MPa) y la resistencia del mortero comercial es del 45.45 kg/cm^2 lo que indica una diferencia porcentual de 3.86%.

Tabla 103

Resumen de la resistencia promedio de morteros con: 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, mortero con 0% sílice y mortero marca comercial a los 28 días

| Muestra N° | Fecha elaboración | Fecha de rotura | Tamaño Partícula Silica gel | Edad (Días) | Resistencia (MPa) | Resistencia (kg/cm^2) |
|------------|-------------------|-----------------|-----------------------------|-------------|-------------------|----------------------------------|
| 143 | 25/09/2018 | 23/10/2018 | Marca Comercial | 28 | 4,46 | 45,45 |
| 11 | 15/08/2018 | 12/09/2018 | 0% Silica gel | 28 | 23,34 | 238,05 |
| 23 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | 0,50% Ret. N° 200 | 28 | 26,08 | 265,90 |
| 95 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | 0,50% Ret. N° 270 | 28 | 26,65 | 271,81 |
| 107 | 26/09/2018 | 24/10/2018 | 0,50% Ret. N° 325 | 28 | 27,37 | 279,05 |
| 119 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | 0,50% Ret. N° 400 | 28 | 27,85 | 284,00 |
| 131 | 01/10/2018 | 29/10/2018 | 0,50% Pas. N° 400 | 28 | 28,26 | 288,13 |

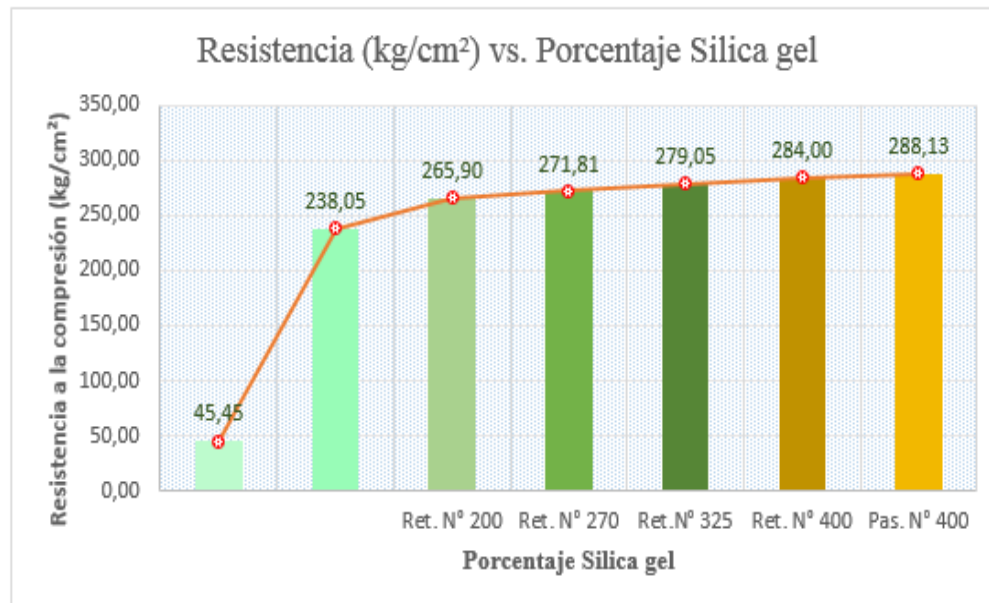


Figura 77 Diagrama resumen de la resistencia promedio de morteros con: 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, mortero con 0% sílice y mortero marca comercial a los 28 días

En relación a los morteros elaborados con cerámica sanitaria reciclada se puede decir que todos cumplen con la resistencia determinada en la norma. La resistencia más alta a la compresión es la que tiene partículas de silica gel con tamaños menores a $38\mu\text{m}$ (pasante tamiz N° 400), con un valor de 288.13 kg/cm^2 a los 28 días, la misma que supera a los otros morteros en un rango de aumento en porcentaje que va desde 6% al 17%, sin tomar en cuenta el valor de resistencia del mortero de marca comercial.

5.4. Ensayos a flexión de morteros con partículas de diferentes tamaños

5.4.1. Resistencia a la flexión en morteros con 0.5 % Silica gel retenido en el Tamiz N° 270

Tabla 104

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 57 | 09/10/2018 | 10/10/2018 | 1 | 163,6 | 40,4 | 40 | 1,275 | 292,4 | 1,03 | 10,48 |
| 58 | 09/10/2018 | 10/10/2018 | 1 | 163,5 | 39,7 | 40 | 1,117 | 360,7 | 1,27 | 12,93 |
| Promedio | | | | | | | | | 1,15 | 11,71 |

Tabla 105

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 3 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 59 | 09/10/2018 | 12/10/2018 | 3 | 163,2 | 41,1 | 39,6 | 1,273 | 905,5 | 3,28 | 33,46 |
| 60 | 09/10/2018 | 12/10/2018 | 3 | 163,3 | 40,2 | 39,4 | 1,504 | 1029,0 | 3,79 | 38,60 |
| Promedio | | | | | | | | | 3,53 | 36,03 |

Tabla 106

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 7 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|---|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 61 | 27/09/2018 | 04/10/2018 | 7 | 162,6 | 39,7 | 39,7 | 0,894 | 1139,0 | 4,10 | 41,77 |
| 62 | 27/09/2018 | 04/10/2018 | 7 | 163,1 | 40,0 | 40,1 | 0,961 | 1233,0 | 4,30 | 43,87 |
| Promedio | | | | | | | | | 4,20 | 42,82 |

Tabla 107

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 28 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 270

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|---|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 63 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | 28 | 161,2 | 40,0 | 39,6 | 1,349 | 1582,0 | 5,73 | 58,45 |
| 64 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | 28 | 161,6 | 39,8 | 39,6 | 1,305 | 1576,0 | 5,71 | 58,23 |
| Promedio | | | | | | | | | 5,72 | 58,34 |

Como se puede observar en la Tabla 108 la diferencia porcentual más grande es de 1.20% que pertenece a los especímenes ensayados a los 3 días, los mismos que presentaron un módulo de rotura de 36.03 kg/cm² con silica gel retenido en el tamiz N° 270 y de 29.94 kg/cm² sin sílice, mientras que el mortero de marca comercial presentó una diferencia bastante grande con valor de 14.09 kg/cm², lo que representa un módulo de rotura de aproximadamente la mitad a la misma edad. A los 28 días el mortero con sílice tiene un aumento de 9% en relación al mortero base (ver, Figura 78).

Tabla 108

Resumen de módulo de rotura de morteros con 0.5% Silica gel retenida en el Tamiz N° 270

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 57 | 10/10/2018 | 1 | 1,15 | 11,71 | 0,57 |
| 59 | 12/10/2018 | 3 | 3,53 | 36,03 | 1,20 |
| 61 | 04/10/2018 | 7 | 4,20 | 42,82 | 1,12 |
| 63 | 25/10/2018 | 28 | 5,72 | 58,34 | 1,09 |

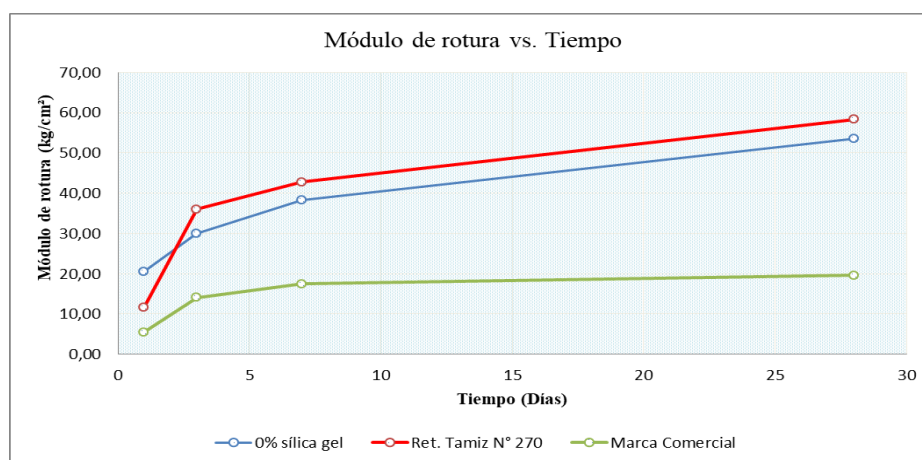


Figura 78 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 270

5.4.2. Resistencia a la flexión en morteros con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325

Tabla 109

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 65 | 15/10/2018 | 16/10/2018 | 1 | 163,4 | 40,3 | 39,5 | 1,138 | 482,6 | 1,76 | 17,97 |
| 66 | 15/10/2018 | 16/10/2018 | 1 | 163,7 | 40,1 | 39,8 | 1,145 | 497,4 | 1,78 | 18,10 |
| Promedio | | | | | | | | | 1,77 | 18,03 |

Tabla 110

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 3 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 67 | 15/10/2018 | 18/10/2018 | 3 | 164,1 | 40,4 | 39,8 | 1,324 | 1011,0 | 3,61 | 36,79 |
| 68 | 15/10/2018 | 18/10/2018 | 3 | 164,2 | 41,0 | 39,8 | 1,354 | 1015,0 | 3,62 | 36,94 |
| Promedio | | | | | | | | | 3,62 | 36,87 |

Tabla 111

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 7 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 69 | 26/09/2018 | 03/10/2018 | 7 | 162,4 | 40,2 | 39,7 | 1,470 | 1255,0 | 4,51 | 46,02 |
| 70 | 26/09/2018 | 03/10/2018 | 7 | 162,0 | 40,1 | 39,6 | 1,575 | 1283,4 | 4,65 | 47,42 |
| Promedio | | | | | | | | | 4,58 | 46,72 |

Tabla 112

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 28 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 325

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 71 | 26/09/2018 | 24/10/2018 | 28 | 160,8 | 40,2 | 39,7 | 1,423 | 1556,0 | 5,60 | 57,06 |
| 72 | 26/09/2018 | 24/10/2018 | 28 | 160,9 | 39,7 | 39,8 | 1,225 | 1679,0 | 5,99 | 61,10 |
| Promedio | | | | | | | | | 5,79 | 59,08 |

Tabla 113

Resumen de módulo de rotura de morteros con 0.5% Silica gel retenida en el Tamiz N° 325

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 65 | 16/10/2018 | 1 | 1,77 | 18,03 | 0,88 |
| 67 | 18/10/2018 | 3 | 3,62 | 36,87 | 1,23 |
| 69 | 03/10/2018 | 7 | 4,58 | 46,72 | 1,22 |
| 71 | 24/10/2018 | 28 | 5,79 | 59,08 | 1,10 |

La Figura 79 muestra el diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo, de la resistencia a la flexión de probetas ensayadas a la edad de 1, 3, 7, y 28 días del mortero con 0.5 % de sílice con un tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 325 con un valor de 59.08 kg/cm² superior a las resistencia que presentó el mortero patrón con un valor de 53.56 kg/cm² a los 28 días. También se puede diferenciar que la curva predominante durante la mayoría de edades es la que representa al mortero con sílice, teniendo una variación en la edad de 1 día en la cual el módulo de rotura es menor al de los especímenes sin sílice, con un valor de variación porcentual de 0.88%, lo que indica que presenta una reducción de aproximadamente 12% en el módulo de rotura.

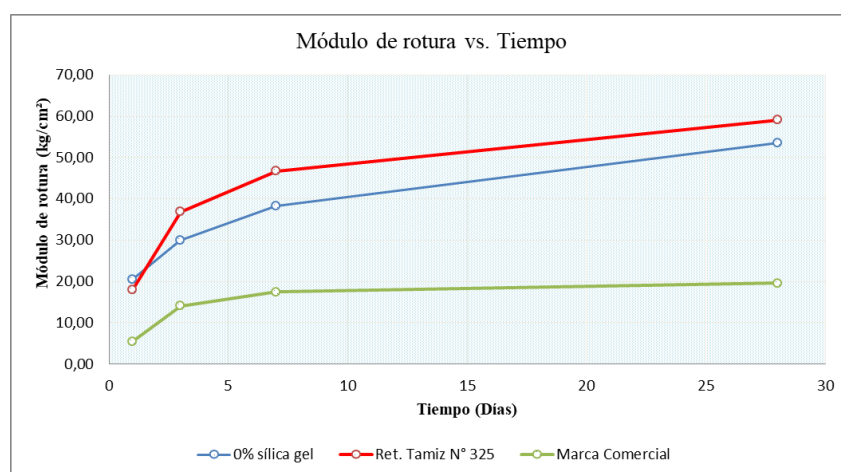


Figura 79 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325

5.4.3. Resistencia a la flexión en morteros con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400

Tabla 114

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 1 día con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 73 | 04/10/2018 | 05/10/2018 | 1 | 164,1 | 40 | 40 | 1,230 | 334,0 | 1,17 | 11,97 |
| 74 | 04/10/2018 | 05/10/2018 | 1 | 164,1 | 39,4 | 39,8 | 1,133 | 382,8 | 1,37 | 13,93 |
| Promedio | | | | | | | | | 1,27 | 12,95 |

Tabla 115

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 3 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 75 | 01/10/2018 | 04/10/2018 | 3 | 162,2 | 41,0 | 40,0 | 1,310 | 973,4 | 3,42 | 34,90 |
| 76 | 01/10/2018 | 04/10/2018 | 3 | 162,3 | 40,5 | 39,6 | 1,286 | 846,9 | 3,07 | 31,29 |
| Promedio | | | | | | | | | 3,25 | 33,09 |

Tabla 116*Ensayo de resistencia a la flexión en mortero en 7 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400*

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 77 | 04/10/2018 | 11/10/2018 | 7 | 164,4 | 43,8 | 39,9 | 1,246 | 1266,0 | 4,48 | 45,73 |
| 78 | 04/10/2018 | 11/10/2018 | 7 | 164,3 | 42,2 | 39,7 | 1,122 | 1306,0 | 4,70 | 47,89 |
| Promedio | | | | | | | | | 4,59 | 46,81 |

Tabla 117*Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 28 días con 0.5 % Silica gel retenido en el tamiz N° 400*

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 79 | 01/10/2018 | 29/10/2018 | 28 | 162,0 | 39,8 | 40,0 | 1,308 | 1667,0 | 5,88 | 59,98 |
| 80 | 01/10/2018 | 29/10/2018 | 28 | 162,6 | 40,4 | 40,1 | 1,270 | 1656,0 | 5,78 | 58,92 |
| Promedio | | | | | | | | | 5,83 | 59,45 |

En la Tabla 118 se puede observar claramente que los especímenes ensayados a la edad de 3, 7 y 28 días presentaron un aumento en el módulo de rotura, debido a que los valores de la variación porcentual son de aproximadamente 1.20% con respecto al mortero patrón, teniendo como resultados 59.45 kg/cm² para los morteros con silica gel retenido en el tamiz N° 400 y 53.56 kg/cm² para el mortero sin silica gel a los 28 días, presentando una variación de 5.89 kg/cm². Mediante la Figura 80 se determinó que los morteros con silica gel predominan completamente el módulo de rotura obtenido por el mortero comercial.

Tabla 118

Resumen de módulo de rotura de mortero con 0.5% Silica gel retenida en el Tamiz N° 400

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 73 | 05/10/2018 | 1 | 1,27 | 12,95 | 0,63 |
| 75 | 04/10/2018 | 3 | 3,25 | 33,09 | 1,11 |
| 77 | 11/10/2018 | 7 | 4,59 | 46,81 | 1,22 |
| 79 | 29/10/2018 | 28 | 5,83 | 59,45 | 1,11 |

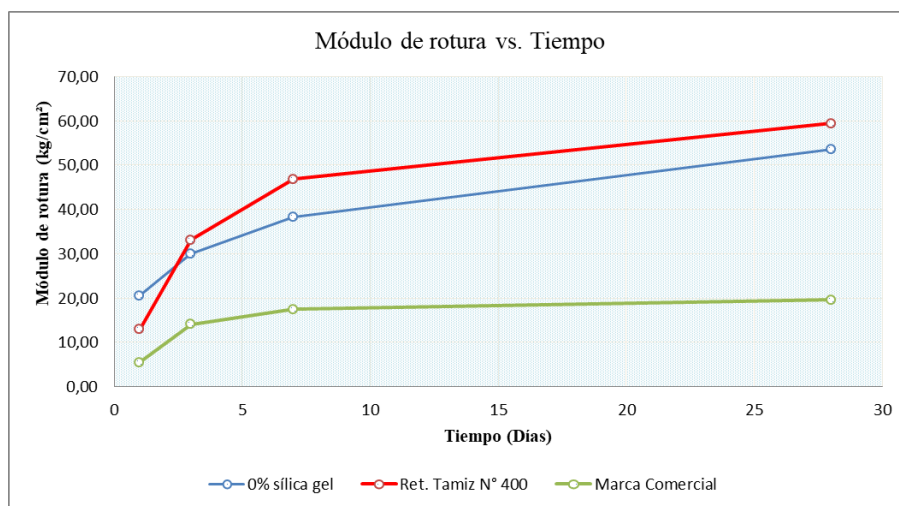


Figura 80 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400

5.4.4. Resistencia a la flexión en morteros con 0.5 % Silica gel pasante del Tamiz N°400

Tabla 119

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 1 día con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 81 | 10/10/2018 | 11/10/2018 | 1 | 163,1 | 40,4 | 39,9 | 0,846 | 362,5 | 1,28 | 13,09 |
| 82 | 10/10/2018 | 11/10/2018 | 1 | 162,7 | 40,5 | 39,6 | 0,690 | 365,0 | 1,32 | 13,49 |
| Promedio | | | | | | | | | 1,30 | 13,29 |

Tabla 120

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 3 días con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|--------------------|-----------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 83 | 02/10/2018 | 05/10/2018 | 3 | 161,6 | 39,8 | 39,7 | 1,786 | 979,2 | 3,52 | 35,91 |
| 84 | 02/10/2018 | 05/10/2018 | 3 | 161,7 | 40,4 | 39,8 | 1,666 | 996,4 | 3,56 | 36,26 |
| Promedio | | | | | | | | | 3,54 | 36,08 |

Tabla 121

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 7 días con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|---------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 85 | 10/10/2018 | 17/10/2018 | 7 | 161,7 | 40,6 | 39,4 | 1,624 | 1356,0 | 4,99 | 50,87 |
| 86 | 10/10/2018 | 17/10/2018 | 7 | 161,6 | 40,6 | 39,7 | 1,616 | 1295,0 | 4,66 | 47,49 |
| Promedio | | | | | | | | | 4,82 | 49,18 |

Tabla 122

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de 28 días con 0.5 % Silica gel pasante del tamiz N° 400

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|---------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 87 | 02/10/2018 | 30/10/2018 | 28 | 161,2 | 40,0 | 39,6 | 1,396 | 1695,0 | 6,14 | 62,62 |
| 88 | 02/10/2018 | 30/10/2018 | 28 | 161,6 | 39,8 | 39,6 | 1,251 | 1528,0 | 5,54 | 56,45 |
| Promedio | | | | | | | | | 5,84 | 59,54 |

La Figura 81 muestra que el módulo de rotura promedio a los 3, 7, y 28 días del mortero con 0.5% de Silica gel con tamaño de partícula pasante del tamiz N° 400 es superior a la resistencia del mortero sin sílice. También se puede observar que la curva predominante es la que representa el valor de módulo de rotura de mortero con la presencia de silica gel, seguida por el mortero sin silica gel y por último, por el mortero comercial. A la edad de 1 día se puede ver claramente que el mortero con silica gel tuvo una disminución de 35% con respecto al mortero patrón y un aumento de aproximadamente el doble con referencia al mortero comercial.

Tabla 123

Resumen de módulo de rotura de mortero con 0.5% Silica pasante del Tamiz N° 400

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|---|-------------------------------|
| 81 | 11/10/2018 | 1 | 1,30 | 13,29 | 0,65 |
| 83 | 05/10/2018 | 3 | 3,54 | 36,08 | 1,21 |
| 85 | 17/10/2018 | 7 | 4,82 | 49,18 | 1,29 |
| 87 | 30/10/2018 | 28 | 5,84 | 59,54 | 1,11 |

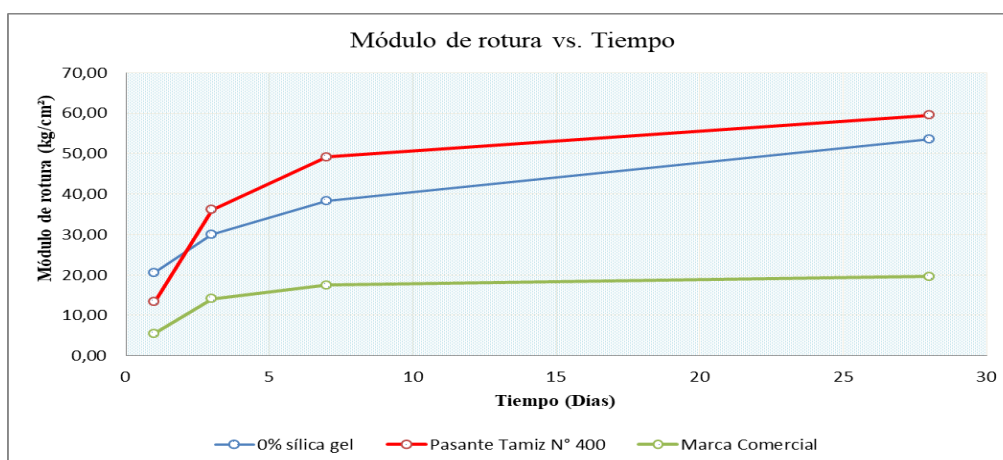


Figura 81 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 400

5.4.5. Resistencia a la flexión en morteros de marca comercial

Tabla 124

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de marca comercial de 1 día

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 89 | 03/10/2018 | 04/10/2018 | 1 | 162,2 | 40,2 | 40,0 | 1,082 | 153,7 | 0,54 | 5,51 |
| 90 | 03/10/2018 | 04/10/2018 | 1 | 162,0 | 40,6 | 39,5 | 0,822 | 146,8 | 0,54 | 5,47 |
| Promedio | | | | | | | | | 0,54 | 5,49 |

Tabla 125

Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de marca comercial de 3 días

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 91 | 21/09/2018 | 28/09/2018 | 3 | 162,6 | 40,2 | 39,8 | 1,311 | 359,9 | 1,28 | 13,10 |
| 92 | 21/09/2018 | 28/09/2018 | 3 | 162,3 | 40,2 | 39,6 | 1,319 | 408,4 | 1,48 | 15,09 |
| Promedio | | | | | | | | | 1,38 | 14,09 |

Tabla 126*Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de marca comercial de 7 días*

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 93 | 03/10/2018 | 10/10/2018 | 7 | 162,4 | 40,2 | 39,6 | 1,158 | 462,2 | 1,67 | 17,08 |
| 94 | 03/10/2018 | 10/10/2018 | 7 | 162,6 | 40,0 | 39,6 | 1,416 | 486,4 | 1,76 | 17,97 |
| Promedio | | | | | | | | | 1,72 | 17,52 |

Tabla 127*Ensayo de resistencia a la flexión en mortero de marca comercial de 28 días*

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (MPa) | Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|-----------------|-----------------------|--------------------|----------------|---------------|---------------|----------------|-------------|--------------|------------------------------|--|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 95 | 25/09/2018 | 23/10/2018 | 28 | 162,0 | 40,5 | 39,8 | 1,402 | 570,0 | 2,03 | 20,74 |
| 96 | 25/09/2018 | 23/10/2018 | 28 | 162,0 | 39,6 | 40,0 | 0,755 | 514,0 | 1,81 | 18,43 |
| Promedio | | | | | | | | | 1,92 | 19,59 |

En la Tabla 128 se puede observar claramente la disminución que presentó el mortero comercial en relación al mortero patrón, superando totalmente la curva que representa al mortero sin sílice (ver, Figura 82) con valores de 53.56 kg/cm^2 y 19.59 kg/cm^2 para el mortero comercial a los 28 días, con una diferencia porcentual de 0.37%.

Tabla 128

Resumen del módulo de rotura promedio de morteros de marca comercial

| N | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm^2) | % Módulo de rotura vs inicial |
|----|-----------------|-------------|---------------------------------|--|-------------------------------|
| 89 | 04/10/2018 | 1 | 0,54 | 5,49 | 0,27 |
| 91 | 28/09/2018 | 3 | 1,38 | 14,09 | 0,47 |
| 93 | 10/10/2018 | 7 | 1,72 | 17,52 | 0,46 |
| 95 | 23/10/2018 | 28 | 1,92 | 19,59 | 0,37 |

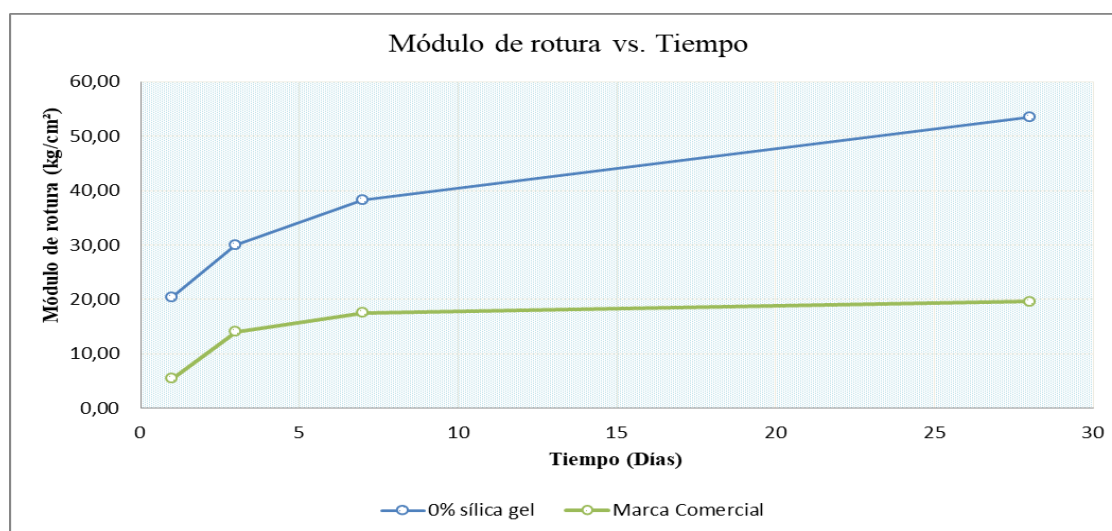


Figura 82 Diagrama Módulo de rotura vs. Tiempo de mortero de marca comercial

En la Figura 83 y en la Tabla 129 se puede observar que a la edad de 1 día el mortero sin sílice gel presentó el mayor módulo de rotura, a los 3 días el valor más grande es de 36.87 kg/cm^2 que pertenece al mortero con sílice gel de tamaño retenido en el tamiz 325, seguido del mortero

con silica gel de tamaño menor a $38\mu\text{m}$ (pasante tamiz N° 400) con 36.08 kg/cm^2 . A los 7 y 28 días el módulo de rotura predominante pertenece al mortero con tamaño de partícula pasante del tamiz N° 400.

Tabla 129

Resumen de módulo de rotura promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial

| Edad (Días) | Marca Comercial | 0% Silica gel | 0,5% Silica gel | | | | Pasante N° 400 |
|-------------|-----------------|---------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | | | Ret. N° 200 | Ret. N° 270 | Ret. N° 325 | Ret. N° 400 | |
| 1 | 5,49 | 20,48 | 15,11 | 11,71 | 18,03 | 12,95 | 13,29 |
| 3 | 14,09 | 29,94 | 34,96 | 36,03 | 36,87 | 33,09 | 36,08 |
| 7 | 17,52 | 38,26 | 41,22 | 42,82 | 46,72 | 46,81 | 49,18 |
| 28 | 19,59 | 53,56 | 57,62 | 58,34 | 59,08 | 59,45 | 59,54 |

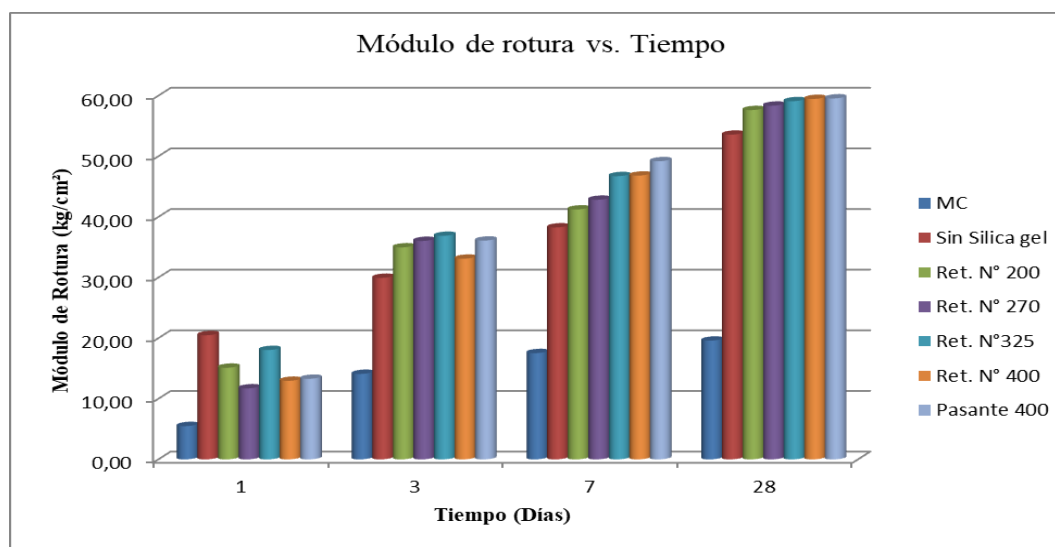


Figura 83 Diagrama de módulo de rotura promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial

Tabla 130

Módulo de rotura promedio de morteros con 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, morteros con 0% sílice y morteros marca comercial a los 28 días

| Muestra N° | Fecha de Fundición | Fecha de Rotura | Tamaño Partícula de Silica gel | Dimensiones | | | Deformación | Carga (N) | Módulo de rotura (kg/cm ²) | Promedio Módulo de rotura (kg/cm ²) |
|------------|--------------------|-----------------|--------------------------------|-------------|------------|-------------|-------------|-----------|--|---|
| | | | | Largo (mm) | Ancho (mm) | Altura (mm) | | | | |
| 95 | 25/09/2018 | 23/10/2018 | Marca Comercial | 162,0 | 40,5 | 39,8 | 1,402 | 570,0 | 20,74 | 19,59 |
| 96 | 25/09/2018 | 23/10/2018 | Marca Comercial | 162,0 | 39,6 | 40,0 | 0,755 | 514,0 | 18,43 | |
| 7 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | Sin silica gel | 163,9 | 39,6 | 40,1 | 1,227 | 1504,0 | 53,52 | 53,56 |
| 8 | 16/08/2018 | 13/09/2018 | Sin silica gel | 164,3 | 39,5 | 40,0 | 1,104 | 1495,0 | 53,60 | |
| 15 | 20/08/2018 | 17/09/2018 | Ret. N° 200 | 164,3 | 40,2 | 39,8 | 1,388 | 1517,0 | 55,21 | 57,62 |
| 16 | 20/08/2018 | 17/09/2018 | Ret. N° 200 | 163,7 | 40,3 | 39,7 | 1,286 | 1637,0 | 60,03 | |
| 63 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | Ret. N° 270 | 161,2 | 40,0 | 39,6 | 1,349 | 1582,0 | 58,45 | 58,34 |
| 64 | 27/09/2018 | 25/10/2018 | Ret. N° 270 | 161,6 | 39,8 | 39,6 | 1,305 | 1576,0 | 58,23 | |
| 71 | 26/09/2018 | 24/10/2018 | Ret. N° 325 | 160,8 | 40,2 | 39,7 | 1,423 | 1556,0 | 57,06 | 59,08 |
| 72 | 26/09/2018 | 24/10/2018 | Ret. N° 325 | 160,9 | 39,7 | 39,8 | 1,225 | 1679,0 | 61,10 | |
| 79 | 01/10/2018 | 29/10/2018 | Ret. N° 400 | 162,0 | 39,8 | 40,0 | 1,308 | 1667,0 | 59,98 | 59,45 |
| 80 | 01/10/2018 | 29/10/2018 | Ret. N° 400 | 162,6 | 40,4 | 40,1 | 1,270 | 1656,0 | 58,92 | |
| 87 | 02/10/2018 | 30/10/2018 | Pas. N° 400 | 161,2 | 40,0 | 39,6 | 1,396 | 1695,0 | 62,62 | 59,54 |
| 88 | 02/10/2018 | 30/10/2018 | Pasante N° 400 | 161,6 | 39,8 | 39,6 | 1,251 | 1528,0 | 56,45 | |

Mediante los resultados obtenidos a partir de los ensayos a flexión realizados, se pudo determinar que mientras la partícula de sílica gel sea más pequeña se obtuvo un módulo de rotura superior, por lo tanto, se pudo definir que el mortero con tamaño de partícula pasante del tamiz N° 400 presentó el valor más sobresaliente, demostrando en la Figura 84 el incremento que se va dando, donde el mayor módulo de rotura a los 28 días es de 59.54 kg/cm². La variación más grande que se observa es la del mortero comercial puesto que este tiene un valor de 19.59 kg/cm², mientras que los morteros realizados con árido elaborado con cerámica sanitaria reciclada presentaron módulos de rotura que van en un rango de 53 kg/cm² a 59 kg/cm² aproximadamente.

Tabla 131

Resumen del módulo de rotura promedio de morteros con: 0.5% de Sílica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, mortero con 0% sílice y mortero marca comercial a los 28 días

| Muestra N° | Fecha de Rotura | Edad (Días) | Tamaño Partícula de Sílica gel | Módulo de rotura promedio (MPa) | Módulo de rotura promedio (kg/cm ²) |
|------------|-----------------|-------------|--------------------------------|---------------------------------|---|
| 95 | 23/10/2018 | 28 | Marca Comercial | 1,92 | 19,59 |
| 7 | 13/09/2018 | 28 | Sin sílica gel | 5,25 | 53,56 |
| 15 | 17/09/2018 | 28 | Ret. N° 200 | 5,65 | 57,62 |
| 63 | 25/10/2018 | 28 | Ret. N° 270 | 5,72 | 58,34 |
| 71 | 24/10/2018 | 28 | Ret. N° 325 | 5,79 | 59,08 |
| 79 | 29/10/2018 | 28 | Ret. N° 400 | 5,83 | 59,45 |
| 87 | 30/10/2018 | 28 | Pas. N° 400 | 5,84 | 59,54 |

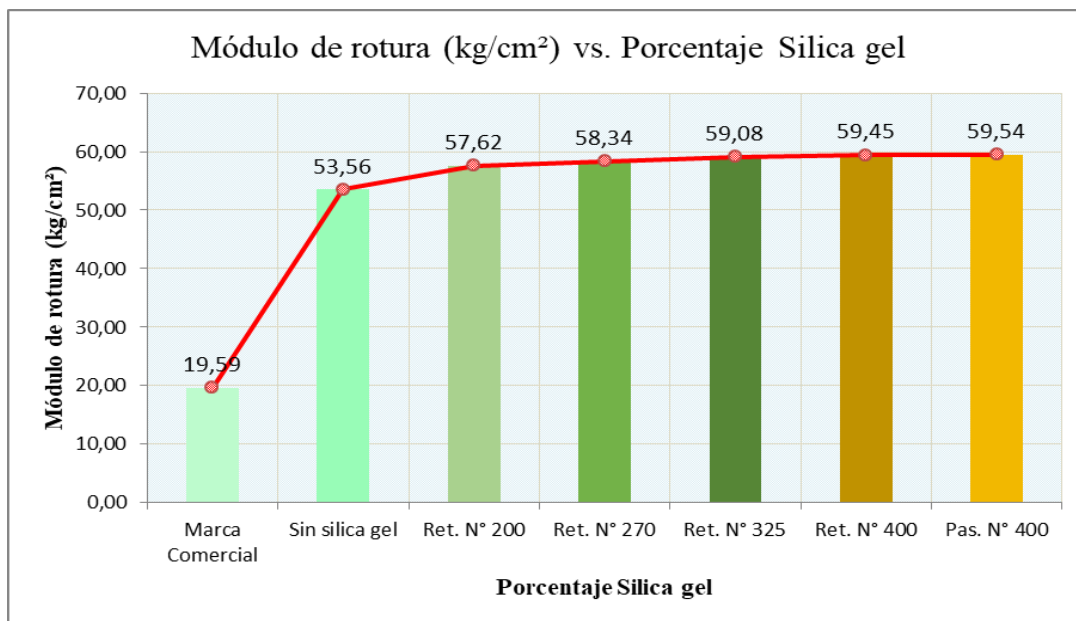


Figura 84 Diagrama resumen de módulo de rotura promedio de morteros con: 0.5% de Silica gel retenido en el Tamiz N° 200, 270, 325, 400, Pasante del tamiz 400, mortero con 0% sílice y mortero marca comercial a los 28 días

5.5. Composición química (EDS)

Para realizar el ensayo EDS se tomó en cuenta los siguientes elementos: O, Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti y Fe. Las muestras que se utilizaron son de morteros triturados a los 28 días con diferentes tamaños de partícula de Silica gel.

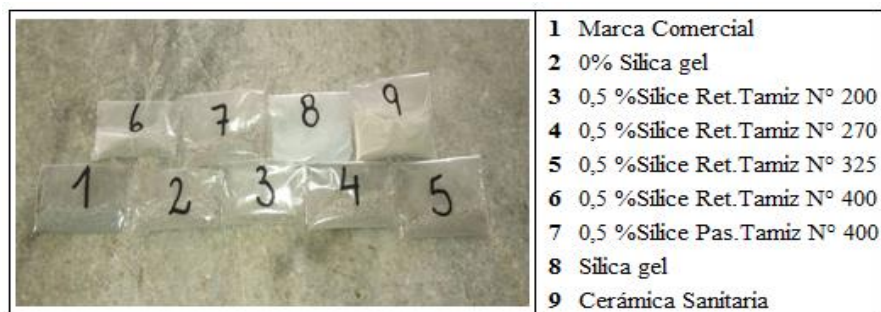


Figura 85 Muestras de morteros triturados para ensayo EDS

Los resultados al realizar la composición química de elementos a los morteros ensayados se muestran en las siguientes tablas:

5.5.1. Composición química de mortero con 0% Silica gel

Tabla 132

Cuantificación de elementos de mortero con 0% Silica gel

| Cuantificación de Resultados | | | | | | | | | | |
|---|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------|----------|--------------|-----------|-----------|
| Espectro | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Ti | Fe |
| Mortero sin Silica gel | 35,28 | 0,82 | 0,31 | 4,96 | 13,12 | 0,50 | 1,12 | 41,16 | 0,38 | 2,33 |
| Mortero sin Silica gel | 46,74 | 0,80 | 0,24 | 3,05 | 6,20 | 0,63 | 0,38 | 37,63 | 0,17 | 4,16 |
| Mortero sin Silica gel | 50,25 | 0,36 | 1,28 | 2,95 | 6,39 | 0,72 | 0,18 | 30,83 | 0,36 | 6,68 |
| Mortero sin Silica gel | 58,38 | 0,59 | 0,59 | 2,57 | 8,65 | 1,06 | 0,45 | 26,39 | 0,11 | 1,21 |
| Mortero sin Silica gel | 55,31 | 0,97 | 0,51 | 4,95 | 11,98 | 0,75 | 0,64 | 23,73 | 0,11 | 1,05 |
| Mortero sin Silica gel | 50,70 | 0,62 | 0,46 | 3,61 | 9,44 | 0,84 | 0,60 | 31,44 | 0,14 | 2,15 |
| Mortero sin Silica gel | 57,08 | 1,37 | 0,58 | 4,81 | 11,05 | 0,72 | 0,62 | 22,61 | 0,14 | 1,03 |
| Mortero sin Silica gel | 53,92 | 0,90 | 0,31 | 3,78 | 9,75 | 0,64 | 1,24 | 27,97 | 0,19 | 1,31 |
| Mortero sin Silica gel | 52,56 | 3,44 | 0,58 | 7,31 | 16,24 | 0,41 | 0,70 | 17,68 | 0,17 | 0,91 |
| Mortero sin Silica gel | 58,25 | 1,03 | 0,69 | 4,60 | 14,22 | 0,48 | 0,56 | 18,97 | 0,19 | 1,01 |
| Mortero sin Silica gel | 49,07 | 1,25 | 1,42 | 6,82 | 13,17 | 0,61 | 0,96 | 21,30 | 0,57 | 4,82 |
| Mortero sin Silica gel | 35,22 | 0,18 | 0,07 | 5,19 | 18,29 | 0,91 | 1,35 | 37,13 | 0,21 | 1,45 |
| Mortero sin Silica gel | 55,62 | 0,85 | 0,74 | 3,11 | 8,42 | 0,93 | 0,35 | 28,37 | 0,09 | 1,52 |
| Mortero sin Silica gel | 63,34 | 2,35 | 0,93 | 4,89 | 8,19 | 1,02 | 0,44 | 18,07 | 0,08 | 0,68 |
| Mortero sin Silica gel | 59,62 | 1,13 | 0,54 | 4,38 | 7,50 | 1,13 | 0,51 | 24,28 | 0,11 | 0,80 |
| Mortero sin Silica gel | 52,41 | 0,48 | 0,46 | 2,80 | 11,70 | 0,48 | 0,67 | 29,30 | 0,14 | 1,56 |
| Mortero sin Silica gel | 48,80 | 0,46 | 0,27 | 3,37 | 9,44 | 1,05 | 0,97 | 33,48 | 0,23 | 1,93 |
| Mortero sin Silica gel | 58,52 | 1,23 | 0,70 | 6,22 | 9,71 | 0,69 | 0,60 | 21,02 | 0,14 | 1,16 |
| Mortero sin Silica gel | 57,49 | 1,12 | 1,15 | 3,51 | 6,95 | 0,76 | 0,41 | 24,02 | 0,21 | 4,39 |
| Mortero sin Silica gel | 41,44 | 0,27 | 0,44 | 5,04 | 8,60 | 1,61 | 0,43 | 39,47 | 0,20 | 2,50 |
| Valor medio: | 52,00 | 1,01 | 0,61 | 4,40 | 10,45 | 0,80 | 0,66 | 27,74 | 0,20 | 2,13 |
| Desviación Estándar: | 7,67 | 0,75 | 0,35 | 1,34 | 3,26 | 0,28 | 0,31 | 7,22 | 0,12 | 1,62 |
| Desviación Estándar significativa: | 1,71 | 0,17 | 0,08 | 0,30 | 0,73 | 0,06 | 0,07 | 1,62 | 0,03 | 0,36 |

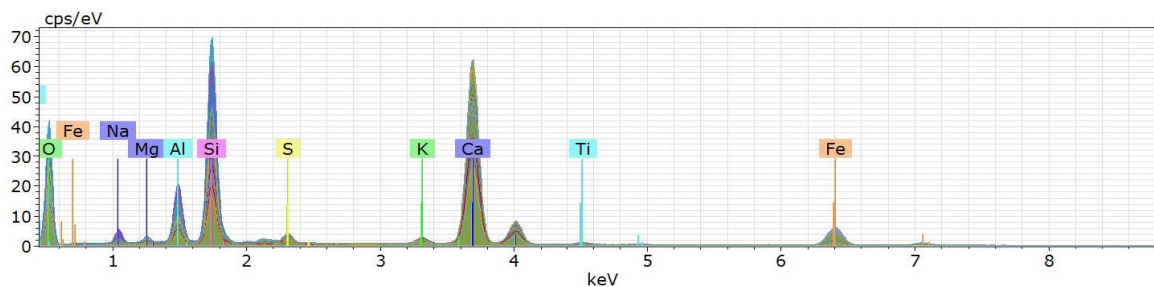


Figura 86 Composición química de mortero con 0% Silica gel

5.5.2. Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N°200

Tabla 133

Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 200

| Cuantificación de Resultados | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-----------|-----------|-----------|--------------|----------|----------|--------------|-----------|-----------|
| Espectro | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Ti | Fe |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 53,92 | 1,78 | 0,74 | 5,33 | 14,26 | 0,62 | 1,24 | 20,19 | 0,21 | 1,70 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 53,49 | 1,70 | 0,94 | 13,90 | 20,41 | 0,38 | 1,42 | 5,98 | 0,65 | 1,13 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 56,52 | 2,71 | 1,14 | 6,72 | 17,05 | 0,83 | 1,01 | 13,45 | 0,09 | 0,47 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 56,56 | 0,59 | 2,21 | 3,22 | 10,54 | 0,64 | 0,78 | 22,41 | 0,13 | 2,92 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 37,14 | 0,04 | 0,18 | 3,98 | 17,70 | 0,76 | 1,55 | 37,23 | 0,15 | 1,27 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 57,42 | 1,72 | 0,78 | 5,46 | 10,58 | 0,86 | 0,74 | 21,13 | 0,27 | 1,04 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 60,57 | 2,07 | 0,96 | 9,26 | 14,50 | 0,26 | 0,12 | 11,83 | 0,12 | 0,32 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 31,49 | 0,23 | 0,33 | 3,29 | 9,35 | 1,23 | 0,75 | 48,34 | 0,53 | 4,44 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 55,82 | 1,50 | 0,56 | 7,45 | 13,71 | 0,35 | 1,57 | 11,52 | 6,12 | 1,40 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 60,82 | 1,15 | 0,78 | 3,58 | 8,01 | 0,54 | 0,36 | 23,88 | 0,12 | 0,77 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 51,44 | 0,94 | 0,38 | 5,20 | 19,90 | 0,18 | 1,29 | 19,02 | 0,15 | 1,51 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 49,24 | 0,42 | 0,33 | 4,22 | 12,21 | 0,78 | 0,72 | 29,99 | 0,18 | 1,90 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 53,80 | 1,30 | 0,87 | 4,72 | 10,86 | 0,66 | 0,47 | 25,21 | 0,20 | 1,92 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 52,98 | 0,83 | 2,00 | 3,89 | 9,87 | 0,74 | 0,91 | 25,88 | 0,50 | 2,41 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 44,31 | 1,38 | 0,22 | 10,76 | 33,97 | 0,31 | 2,49 | 5,47 | 0,29 | 0,81 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 67,32 | 1,13 | 1,19 | 1,49 | 3,02 | 0,18 | 0,27 | 24,93 | 0,04 | 0,43 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 64,94 | 1,49 | 0,77 | 3,65 | 9,62 | 0,51 | 0,62 | 17,71 | 0,08 | 0,59 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 57,58 | 0,83 | 0,41 | 2,80 | 7,72 | 0,96 | 0,47 | 28,28 | 0,07 | 0,89 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #200 | 48,85 | 0,67 | 1,38 | 2,84 | 6,99 | 0,35 | 0,37 | 27,40 | 9,84 | 1,31 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 52,00 | 0,83 | 0,45 | 4,33 | 8,96 | 0,63 | 0,64 | 30,93 | 0,21 | 1,02 |
| Valor medio: | 53,38 | 1,18 | 0,85 | 5,36 | 13,17 | 0,59 | 0,90 | 22,10 | 1,04 | 1,43 |
| Desviación Estándar: | 8,70 | 0,67 | 0,56 | 3,09 | 6,77 | 0,29 | 0,58 | 10,39 | 2,53 | 1,00 |
| Desviación Estándar significa: | 2,00 | 0,15 | 0,13 | 0,71 | 1,55 | 0,07 | 0,13 | 2,38 | 0,58 | 0,23 |

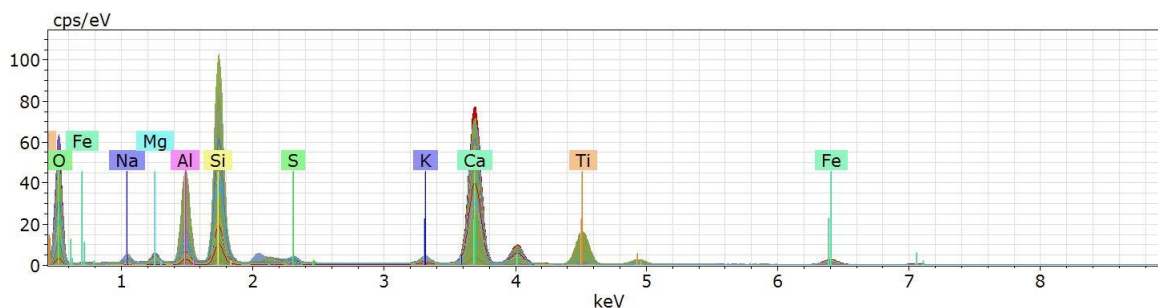


Figura 87 Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 200

5.5.3. Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N°270

Tabla 134

Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 270

| Cuantificación de Resultados | | | | | | | | | | |
|---|--------------|------|------|-------|--------------|------|------|--------------|------|------|
| Espectro | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Ti | Fe |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 59,75 | 0,86 | 1,09 | 3,82 | 6,91 | 0,64 | 0,22 | 23,94 | 0,18 | 2,59 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 47,57 | 0,69 | 0,41 | 2,48 | 5,63 | 0,42 | 0,27 | 33,43 | 0,62 | 8,50 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 59,53 | 0,48 | 0,28 | 1,87 | 7,89 | 0,56 | 0,35 | 27,41 | 0,13 | 1,51 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 51,40 | 0,84 | 0,47 | 4,39 | 9,54 | 1,41 | 0,79 | 29,48 | 0,18 | 1,52 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 43,15 | 1,43 | 0,50 | 11,26 | 17,05 | 0,54 | 1,50 | 22,28 | 0,37 | 1,91 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 57,54 | 1,17 | 0,55 | 3,45 | 6,92 | 0,41 | 0,79 | 27,85 | 0,31 | 1,00 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 56,34 | 1,09 | 0,84 | 3,80 | 11,15 | 0,77 | 0,44 | 24,58 | 0,10 | 0,90 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 62,97 | 1,22 | 0,91 | 4,33 | 7,71 | 0,75 | 0,29 | 20,88 | 0,10 | 0,85 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 52,08 | 1,28 | 0,34 | 4,85 | 9,73 | 0,44 | 0,90 | 29,51 | 0,07 | 0,82 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 55,74 | 1,93 | 0,52 | 6,52 | 24,54 | 0,41 | 1,29 | 8,31 | 0,16 | 0,57 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 55,25 | 1,62 | 0,67 | 5,53 | 11,44 | 0,57 | 0,58 | 22,63 | 0,09 | 1,62 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 49,02 | 1,01 | 0,49 | 17,31 | 18,07 | 0,39 | 1,54 | 9,78 | 0,32 | 2,06 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 53,14 | 0,84 | 0,86 | 3,49 | 10,66 | 1,21 | 0,49 | 28,16 | 0,13 | 1,03 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 58,84 | 1,05 | 1,14 | 4,33 | 8,28 | 0,69 | 0,25 | 22,99 | 0,18 | 2,24 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 54,63 | 1,08 | 0,37 | 3,46 | 8,57 | 0,47 | 1,27 | 29,21 | 0,05 | 0,89 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 56,63 | 6,08 | 0,63 | 3,81 | 9,74 | 6,04 | 1,10 | 14,73 | 0,17 | 1,08 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 26,88 | 1,24 | 0,75 | 4,94 | 12,07 | 1,17 | 0,98 | 47,93 | 0,13 | 3,93 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 54,08 | 0,86 | 0,56 | 2,59 | 9,22 | 0,52 | 0,24 | 30,91 | 0,17 | 0,84 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 42,25 | 0,29 | 0,37 | 3,43 | 10,34 | 0,67 | 0,66 | 40,35 | 0,26 | 1,40 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #270 | 52,00 | 0,83 | 0,45 | 4,33 | 8,96 | 0,63 | 0,64 | 30,93 | 0,21 | 1,02 |
| Valor medio: | 52,44 | 1,29 | 0,61 | 5,00 | 10,72 | 0,94 | 0,73 | 26,26 | 0,20 | 1,81 |
| Desviación Estándar: | 8,02 | 1,19 | 0,25 | 3,49 | 4,47 | 1,23 | 0,43 | 9,19 | 0,13 | 1,76 |
| Desviación Estándar significativa: | 1,79 | 0,27 | 0,06 | 0,78 | 1,00 | 0,28 | 0,10 | 2,05 | 0,03 | 0,39 |

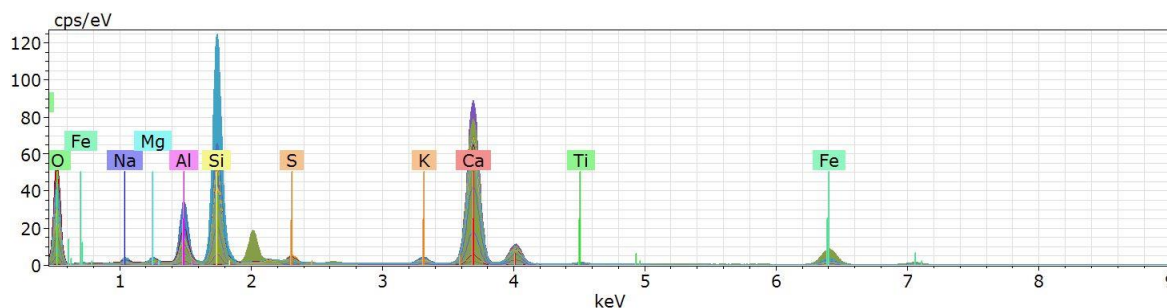


Figura 88 Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 270

5.5.4. Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N°325

Tabla 135

Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 325

| Cuantificación de Resultados | | | | | | | | | | |
|---|--------------|-------|------|------|--------------|-------|------|--------------|------|------|
| Espectro | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Ti | Fe |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 56,62 | 4,11 | 0,44 | 8,64 | 14,42 | 0,39 | 0,33 | 14,68 | 0,05 | 0,32 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 64,97 | 2,31 | 1,23 | 2,55 | 5,15 | 1,60 | 0,18 | 21,02 | 0,08 | 0,91 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 55,32 | 5,03 | 0,30 | 5,10 | 8,80 | 8,69 | 1,36 | 14,83 | 0,00 | 0,55 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 56,69 | 2,49 | 1,29 | 8,53 | 12,71 | 1,15 | 0,62 | 15,03 | 0,51 | 0,99 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 53,26 | 1,35 | 0,63 | 5,20 | 18,23 | 0,48 | 2,02 | 18,02 | 0,17 | 0,64 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 49,88 | 0,54 | 0,99 | 3,33 | 7,68 | 13,98 | 2,26 | 20,00 | 0,10 | 1,24 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 38,44 | 0,17 | 0,21 | 1,93 | 5,63 | 0,54 | 0,92 | 48,34 | 0,28 | 3,54 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 60,28 | 0,65 | 0,37 | 4,19 | 10,04 | 3,38 | 1,28 | 19,17 | 0,17 | 0,47 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 58,02 | 2,66 | 0,38 | 5,46 | 10,24 | 0,78 | 0,24 | 21,69 | 0,05 | 0,48 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 69,87 | 11,92 | 2,35 | 2,54 | 3,07 | 7,60 | 0,27 | 2,15 | 0,00 | 0,23 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 69,53 | 11,53 | 2,74 | 2,56 | 2,72 | 6,64 | 0,26 | 3,46 | 0,03 | 0,52 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 59,39 | 2,35 | 0,72 | 6,66 | 11,38 | 0,74 | 0,93 | 16,83 | 0,12 | 0,89 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 69,25 | 5,16 | 1,31 | 1,88 | 3,93 | 2,59 | 0,17 | 15,04 | 0,09 | 0,58 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 52,95 | 1,34 | 0,69 | 4,90 | 9,32 | 0,55 | 0,39 | 28,78 | 0,12 | 0,97 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 59,09 | 1,91 | 0,52 | 6,99 | 19,92 | 0,48 | 0,77 | 9,80 | 0,18 | 0,34 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 63,89 | 14,32 | 2,65 | 2,52 | 2,93 | 9,33 | 0,13 | 3,84 | 0,06 | 0,33 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 53,82 | 0,48 | 0,22 | 0,90 | 35,37 | 0,43 | 0,18 | 8,44 | 0,02 | 0,14 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 65,35 | 2,27 | 0,86 | 2,99 | 6,60 | 1,56 | 0,25 | 19,13 | 0,11 | 0,88 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #325 | 56,44 | 2,43 | 1,41 | 5,25 | 8,95 | 0,80 | 1,15 | 21,01 | 0,28 | 2,29 |
| Valor medio: | 58,58 | 3,84 | 1,02 | 4,32 | 10,37 | 3,25 | 0,72 | 16,91 | 0,13 | 0,86 |
| Desviación Estándar: | 7,70 | 4,16 | 0,79 | 2,26 | 7,77 | 3,99 | 0,64 | 10,31 | 0,12 | 0,81 |
| Desviación Estándar significativa: | 1,77 | 0,95 | 0,18 | 0,52 | 1,78 | 0,92 | 0,15 | 2,37 | 0,03 | 0,19 |

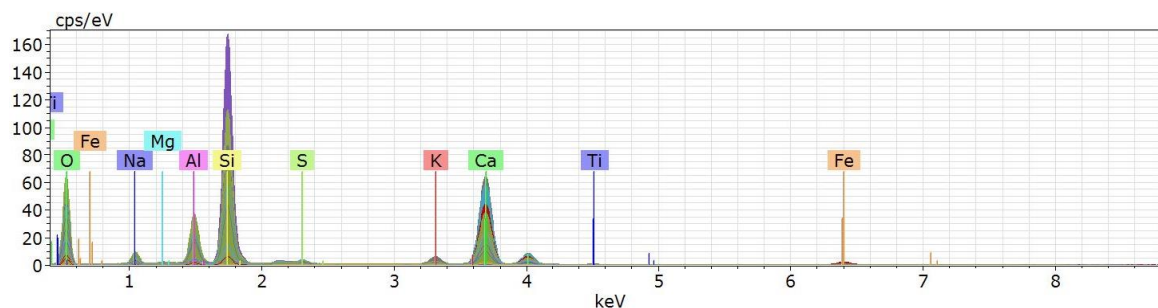


Figura 89 Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 325

5.5.5. Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N°400

Tabla 136

Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel retenido en Tamiz N° 400

| Cuantificación de Resultados | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Espectro | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Ti | Fe |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 41,23 | 0,34 | 0,67 | 3,58 | 11,35 | 1,20 | 0,67 | 39,01 | 0,24 | 1,71 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 60,75 | 1,95 | 0,93 | 4,81 | 11,40 | 0,65 | 0,89 | 16,57 | 0,21 | 1,86 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 51,96 | 2,69 | 1,28 | 4,17 | 14,92 | 1,99 | 0,84 | 19,90 | 0,43 | 1,81 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 61,70 | 1,60 | 0,68 | 5,86 | 17,20 | 0,58 | 0,49 | 11,29 | 0,09 | 0,51 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 60,77 | 2,00 | 0,69 | 3,17 | 13,65 | 1,19 | 0,47 | 17,21 | 0,24 | 0,60 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 58,05 | 1,63 | 0,97 | 4,42 | 12,95 | 0,80 | 0,93 | 19,17 | 0,16 | 0,92 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 63,44 | 2,03 | 0,77 | 3,29 | 7,35 | 1,12 | 0,32 | 20,74 | 0,14 | 0,81 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 58,39 | 1,00 | 0,55 | 4,46 | 8,15 | 0,76 | 0,45 | 25,39 | 0,10 | 0,74 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 63,38 | 3,69 | 1,31 | 2,94 | 7,63 | 2,24 | 0,19 | 17,75 | 0,11 | 0,76 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 62,51 | 3,11 | 0,75 | 5,05 | 18,70 | 0,61 | 0,87 | 7,76 | 0,10 | 0,54 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 47,70 | 0,79 | 0,21 | 8,79 | 23,80 | 0,87 | 0,36 | 16,03 | 0,14 | 1,31 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 51,49 | 1,13 | 0,16 | 6,31 | 14,52 | 1,23 | 1,47 | 22,78 | 0,17 | 0,75 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 52,00 | 0,22 | 0,24 | 1,46 | 5,38 | 0,07 | 1,30 | 37,30 | 0,20 | 1,85 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 70,37 | 10,87 | 2,12 | 2,07 | 2,30 | 6,47 | 0,18 | 5,04 | 0,09 | 0,49 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 57,34 | 0,98 | 0,92 | 3,04 | 7,08 | 1,29 | 0,27 | 27,78 | 0,21 | 1,08 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 52,86 | 2,24 | 0,34 | 3,51 | 8,81 | 5,38 | 0,98 | 24,57 | 0,25 | 1,05 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 50,80 | 1,12 | 0,72 | 4,17 | 12,09 | 1,31 | 0,83 | 27,46 | 0,22 | 1,29 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 53,88 | 1,01 | 0,50 | 3,76 | 10,26 | 4,26 | 0,75 | 24,43 | 0,12 | 1,03 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 47,63 | 0,88 | 0,52 | 2,33 | 5,10 | 0,38 | 0,32 | 41,74 | 0,03 | 1,08 |
| Silica gel_Ret. Tamiz #400 | 52,82 | 2,46 | 0,47 | 7,14 | 24,19 | 0,45 | 2,70 | 8,78 | 0,20 | 0,79 |
| Valor medio: | 55,95 | 2,09 | 0,74 | 4,22 | 11,84 | 1,64 | 0,76 | 21,53 | 0,17 | 1,05 |
| Desviación Estándar: | 6,92 | 2,26 | 0,45 | 1,77 | 5,88 | 1,72 | 0,58 | 9,99 | 0,09 | 0,45 |
| Desviación Estándar signífica: | 1,55 | 0,50 | 0,10 | 0,40 | 1,31 | 0,39 | 0,13 | 2,23 | 0,02 | 0,10 |

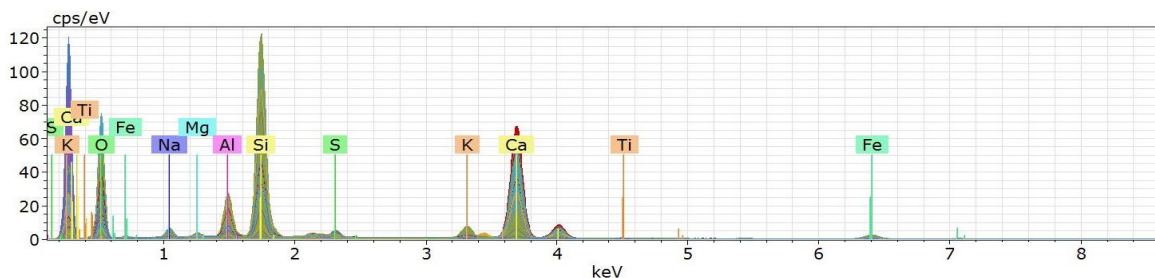


Figura 90 Composición química de mortero con 0.5% Silica gel retenido en el Tamiz N° 400

5.5.6. Composición química de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 400

Tabla 137

Cuantificación de elementos de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 400

| Cuantificación de Resultados | | | | | | | | | | |
|---|--------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Espectro | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Ti | Fe |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 44,46 | 1,04 | 0,39 | 10,52 | 24,95 | 0,63 | 1,62 | 14,33 | 0,69 | 1,37 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 55,93 | 1,63 | 0,47 | 5,43 | 11,25 | 0,73 | 0,49 | 23,37 | 0,06 | 0,62 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 25,95 | 0,27 | 0,16 | 1,12 | 5,20 | 1,65 | 0,99 | 63,65 | 0,07 | 0,95 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 64,67 | 3,46 | 0,92 | 1,85 | 4,09 | 3,80 | 0,28 | 20,28 | 0,20 | 0,45 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 46,84 | 0,65 | 0,50 | 3,21 | 10,42 | 0,59 | 0,78 | 33,81 | 0,18 | 3,02 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 57,94 | 1,00 | 0,46 | 2,87 | 8,83 | 0,58 | 0,50 | 27,13 | 0,06 | 0,63 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 46,31 | 0,63 | 0,29 | 3,70 | 10,12 | 0,58 | 0,87 | 36,54 | 0,11 | 0,85 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 59,48 | 1,40 | 0,68 | 4,59 | 13,82 | 0,69 | 0,56 | 18,01 | 0,13 | 0,63 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 54,75 | 0,90 | 0,85 | 5,42 | 11,24 | 0,30 | 0,32 | 24,54 | 0,16 | 1,52 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 31,31 | 0,92 | 0,51 | 6,33 | 16,68 | 1,48 | 1,82 | 38,26 | 0,46 | 2,22 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 56,31 | 1,24 | 1,21 | 6,97 | 10,34 | 0,41 | 0,43 | 18,91 | 0,23 | 3,94 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 54,66 | 2,82 | 0,46 | 7,18 | 22,64 | 0,39 | 2,62 | 8,38 | 0,15 | 0,71 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 61,62 | 2,18 | 0,54 | 4,39 | 12,22 | 0,53 | 1,05 | 16,63 | 0,27 | 0,57 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 43,05 | 0,27 | 0,14 | 4,74 | 13,62 | 0,93 | 1,29 | 34,56 | 0,22 | 1,18 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 52,42 | 1,02 | 0,63 | 5,39 | 9,47 | 0,82 | 0,74 | 27,16 | 0,22 | 2,14 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 44,88 | 1,17 | 0,67 | 5,77 | 8,56 | 0,65 | 0,87 | 35,68 | 0,20 | 1,54 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 60,22 | 1,28 | 0,97 | 4,47 | 10,53 | 1,17 | 0,64 | 19,44 | 0,19 | 1,10 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 47,27 | 0,75 | 0,00 | 3,50 | 10,61 | 0,83 | 1,35 | 34,49 | 0,03 | 1,18 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 51,64 | 1,45 | 1,49 | 3,65 | 8,60 | 0,23 | 0,68 | 28,94 | 0,24 | 3,08 |
| Silica gel_Pasante Tamiz #400 | 55,02 | 2,00 | 0,57 | 6,48 | 17,01 | 0,53 | 1,62 | 15,42 | 0,18 | 1,17 |
| Valor medio: | 50,74 | 1,30 | 0,60 | 4,88 | 12,01 | 0,88 | 0,98 | 26,98 | 0,20 | 1,44 |
| Desviación Estándar: | 9,77 | 0,80 | 0,36 | 2,09 | 5,11 | 0,78 | 0,59 | 12,18 | 0,15 | 0,97 |
| Desviación Estándar significativa: | 2,18 | 0,18 | 0,08 | 0,47 | 1,14 | 0,17 | 0,13 | 2,72 | 0,03 | 0,22 |

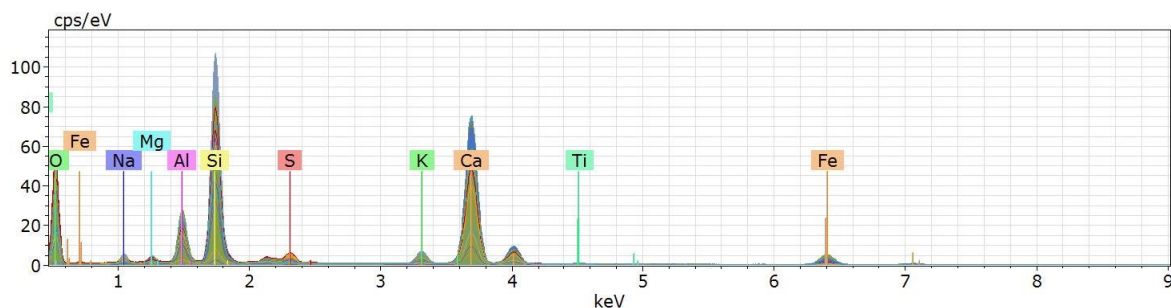


Figura 91 Composición química de mortero con 0.5% Silica gel pasante del Tamiz N° 400

5.5.7. Composición química de mortero de marca comercial

Tabla 138

Cuantificación de elementos de mortero marca comercial

| Cuantificación de Resultados | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|--------------|------|------|------|--------------|------|------|--------------|------|-------|
| Espectro | O | Na | Mg | Al | Si | S | K | Ca | Ti | Fe |
| Mortero_Marca Comercial P11.spx | 52,02 | 1,67 | 0,69 | 4,46 | 12,21 | 0,85 | 0,76 | 26,26 | 0,10 | 0,98 |
| Mortero_Marca Comercial P1.spx | 50,24 | 0,90 | 1,50 | 3,49 | 10,56 | 1,24 | 1,28 | 28,71 | 0,46 | 1,61 |
| Mortero_Marca Comercial P12.spx | 64,79 | 6,28 | 1,23 | 2,21 | 4,71 | 4,87 | 0,19 | 14,91 | 0,01 | 0,81 |
| Mortero_Marca Comercial P13.spx | 53,22 | 0,92 | 1,04 | 3,14 | 9,57 | 1,04 | 0,36 | 29,33 | 0,12 | 1,25 |
| Mortero_Marca Comercial P14.spx | 35,73 | 0,79 | 0,43 | 4,40 | 10,85 | 0,98 | 0,53 | 33,15 | 0,85 | 12,31 |
| Mortero_Marca Comercial P15.spx | 56,14 | 3,65 | 0,39 | 5,86 | 27,94 | 0,42 | 1,21 | 3,90 | 0,10 | 0,36 |
| Mortero_Marca Comercial P16.spx | 61,90 | 1,47 | 1,80 | 2,25 | 7,73 | 0,94 | 0,35 | 22,20 | 0,10 | 1,25 |
| Mortero_Marca Comercial P17.spx | 56,80 | 2,52 | 0,77 | 6,69 | 12,88 | 0,78 | 0,93 | 15,00 | 1,42 | 2,21 |
| Mortero_Marca Comercial P18.spx | 54,04 | 1,34 | 1,13 | 4,25 | 13,33 | 0,86 | 0,76 | 23,30 | 0,10 | 0,89 |
| Mortero_Marca Comercial P19.spx | 45,23 | 0,72 | 0,24 | 3,22 | 11,24 | 0,92 | 0,94 | 34,34 | 0,66 | 2,49 |
| Mortero_Marca Comercial P2.spx | 43,71 | 1,03 | 0,03 | 6,05 | 17,06 | 1,25 | 2,88 | 26,61 | 0,11 | 1,26 |
| Mortero_Marca Comercial P20.spx | 58,72 | 2,10 | 4,30 | 4,81 | 13,37 | 0,77 | 0,44 | 12,35 | 0,14 | 3,02 |
| Mortero_Marca Comercial P3.spx | 24,74 | 0,66 | 0,10 | 0,00 | 6,40 | 3,92 | 1,81 | 59,62 | 0,06 | 2,69 |
| Mortero_Marca Comercial P4.spx | 50,30 | 1,18 | 3,94 | 4,72 | 18,12 | 0,92 | 0,35 | 15,34 | 0,40 | 4,73 |
| Mortero_Marca Comercial P5.spx | 49,61 | 1,93 | 0,69 | 8,43 | 15,08 | 1,20 | 0,60 | 20,59 | 0,14 | 1,73 |
| Mortero_Marca Comercial P6.spx | 61,95 | 1,95 | 1,49 | 2,94 | 10,44 | 1,46 | 0,27 | 18,05 | 0,13 | 1,34 |
| Mortero_Marca Comercial P7.spx | 54,23 | 2,81 | 0,43 | 8,45 | 22,20 | 0,40 | 0,95 | 9,40 | 0,16 | 0,97 |
| Mortero_Marca Comercial P8.spx | 45,79 | 1,65 | 0,52 | 5,42 | 14,14 | 1,03 | 0,62 | 25,03 | 0,14 | 5,66 |
| Mortero_Marca Comercial P9.spx | 59,83 | 1,86 | 0,97 | 4,36 | 10,55 | 0,81 | 0,85 | 19,20 | 0,13 | 1,44 |
| Valor medio: | 51,53 | 1,86 | 1,14 | 4,48 | 13,07 | 1,30 | 0,85 | 23,02 | 0,28 | 2,47 |
| Desviación Estándar: | 9,68 | 1,32 | 1,16 | 2,09 | 5,45 | 1,13 | 0,64 | 11,95 | 0,35 | 2,74 |
| Desviación Estándar significa: | 2,22 | 0,30 | 0,27 | 0,48 | 1,25 | 0,26 | 0,15 | 2,74 | 0,08 | 0,63 |

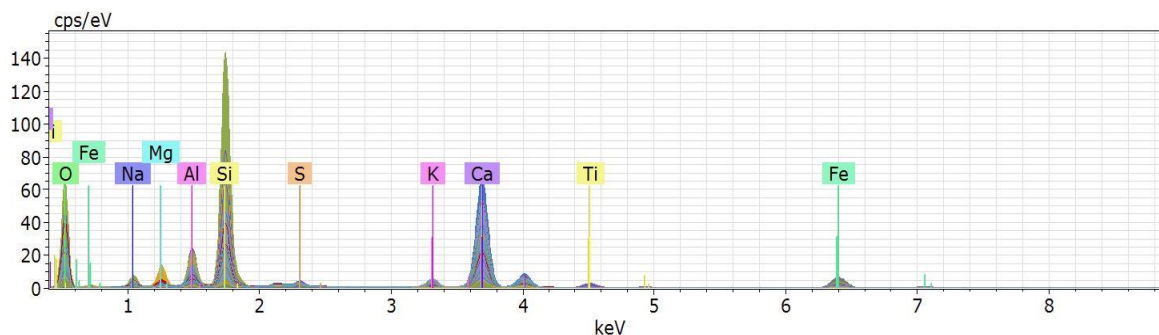


Figura 92 Composición química de mortero marca comercial

A continuación se presenta los resultados de los elementos que presentaron mayor porcentaje, entre estos elementos se tiene Oxígeno (O), Sodio (Na), Magnesio (Mg), Aluminio (Al), Silicio (Si), Calcio (Ca) y Hierro (Fe):

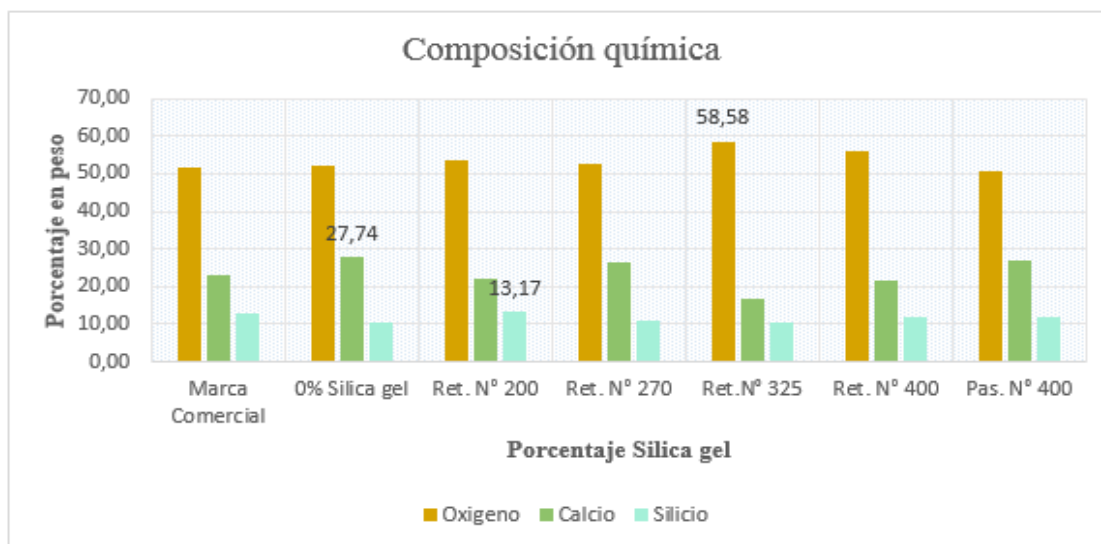


Figura 93 Composición química de morteros ensayados

En la Figura 93 se puede observar que el Oxígeno (O) tiene mayor valor del porcentaje en peso, debido a que se encuentra en un rango de 51 a 59 siendo la muestra de 0.5% de Silica gel retenido en el tamiz N° 325 la de mayor valor, con un porcentaje de 58.58%.

Otro elemento obtenido en este análisis es el Silicio (Si), que presentó un valor máximo de 13.17% y un valor mínimo de 10.37% pertenecientes a las muestras del 0.5% de sílice retenidos en el tamiz N° 200 y en el tamiz N° 325 respectivamente.

El Calcio (Ca) es otro elemento presente en los morteros ensayados, el mismo que tuvo un mayor porcentaje en la muestra que no contiene sílica gel con un valor de 27.74% y la muestra que contiene 0.5% Sílica gel retenido en el tamiz N° 325 con menor porcentaje con un valor de 16.91%.

Respecto a la muestra de marca comercial se determinó que los elementos más abundantes son el O, Si, Ca, similares a los morteros estudiados. Los elementos que presentaron porcentajes con valores superiores fueron el Oxígeno 51.53%, Silicio 13.07% y Calcio 23.02%.

Por lo tanto, se puede decir que mediante este análisis semicuantitativo los elementos predominantes en las muestras de mortero son el O, Si y Ca, también existe la presencia de otros elementos como Magnesio (Mg), Aluminio (Al) y Sodio (Na), esto es debido a que uno de los compuestos de la cerámica sanitaria son feldespatos. Se definió que la mayor parte de estos minerales son anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) porque existe gran porcentaje de peso de calcio, teniendo también en mínima cantidad sodio, lo que indica la existencia de albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$).

En los resultados también se evidenció una pequeña cantidad de hierro (Fe), lo que puede deberse a que el material utilizado en la elaboración de cerámica sanitaria es una arcilla ferruginosa la misma que al ser extraída de su medio natural presenta trazas de hierro.

Tabla 139*Tabla resumen de los elementos en morteros ensayados*

| Elementos | Marca Comercial | 0% Silica gel | 0,5% de Silica gel | | | | |
|-----------|-----------------|---------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | Ret. N° 200 | Ret. N° 270 | Ret. N° 325 | Ret. N° 400 | Pas. N° 400 |
| O | 51,53 | 52,00 | 53,38 | 52,44 | 58,58 | 55,95 | 50,74 |
| Mg | 1,14 | 0,61 | 0,85 | 0,61 | 1,02 | 0,74 | 0,60 |
| Al | 4,48 | 4,40 | 5,36 | 5,00 | 4,32 | 4,22 | 4,88 |
| Si | 13,07 | 10,45 | 13,17 | 10,72 | 10,37 | 11,84 | 12,01 |
| Na | 1,86 | 1,01 | 1,18 | 1,29 | 3,84 | 2,09 | 1,30 |
| Ca | 23,02 | 27,74 | 22,10 | 26,26 | 16,91 | 21,53 | 26,98 |
| Fe | 2,47 | 2,13 | 1,43 | 1,81 | 0,86 | 1,05 | 1,44 |

5.6. Micrografía Electrónica de Barrido (SEM) de los morteros ensayados

Las muestras utilizadas para este ensayo fueron pequeños trozos de morteros a la edad de 28 días.

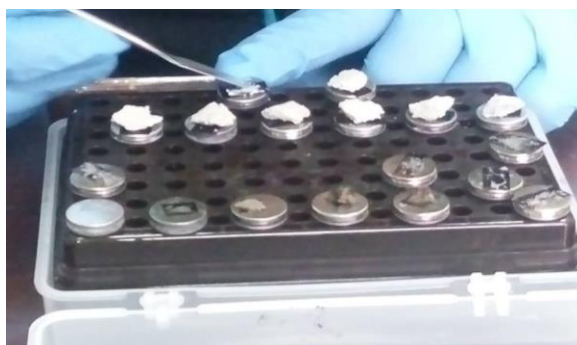



Figura 94 Muestras colocadas en stub

Las micrografías presentan los siguientes datos:

- SEM HV: tensión a la que se realizó el ensayo.
- SEM MAG: magnificación de la imagen (ej. 5.00 kx es igual a 5000 veces el tamaño real).
- WD: Distancia de trabajo entre el lente y la muestra.

En las siguientes imágenes se puede observar las micrografías tomadas a diferentes muestras de mortero, las mismas que se encuentran en diferentes magnificaciones (100 x, 500 x, 1.00 kx, 5.00 kx, 10.0 kx y 15.0 kx). La tensión a la que se realizó el ensayo fue de 15.0 kv y la distancia de trabajo entre el lente y la muestra está en un rango de 11.0 mm a 14.0 mm.

Tabla 140Nomenclatura para micrografías

-  Etringita
 -  Silica gel
 -  Fibra de vidrio
 -  Microorificio
 -  Formación de vidrio
-

En la Figura 95 se puede observar las micrografías del mortero de marca comercial en diferentes magnitudes, con magnitud 100 x se evidenció que se encuentra estructurado por una masa silicosa más feldespatos (un aglomerante constituido por compuestos de silicato de aluminio, sodio y potasio que son importados de ucrania o de calcio de medios naturales de Ecuador plagioclasas), es un mortero que tiene fibras de lana de vidrio, la misma que sirve para darle mayor coherencia al mortero, para que no se fisure formando una red o malla.

Con 500 x es 5 veces más amplificado por lo tanto, el campo de visualización es más pequeño, lo que nos indica que tiene un bajo porcentaje de fibra de vidrio (escaso), por lo tanto, no está bien estructurado. También se observa retículos cristalinos de la anortita o albita. Con 1.00 kx se puede observar que no se tuvo la presencia de fibra, tiene una granulometría micrométrica. No se presentó mayor detalle, existen restos mínimos de material orgánico que

puede ser pega, formando una cascara, se ve cierto tipo de uniformidad que una intersticios de cristal, buscando coberturas. El agujero que se ve es un microporo a su alrededor se observa un revestimiento como un polímero o adherente artificial. Con 5.00 kx vemos que existe abundancia de cristales que pueden ser formados a partir del cemento con los polímeros.

En las Figuras 96, 97, 98, 99, 100 y 101 se presentan las micrograffías de los morteros elaborados con residuos de cerámica sanitaria reciclada con y sin sílice, mediante las cuales se definió que en la parte ensayada se presenta porosidad, es un material heterogéneo, con presencia de gránulos. En algunas partes el material esta fundido, se puede ver que existe una gran abundancia de estructuras amorfas que dentro del punto de vista mineralógica son fluidos altamente viscosos formados por micropartículas, que permiten a los niveles intermoleculares tener un poco de flexión o que empiecen a flejar, característica físico química que presenta una arcilla que tiene la propiedad física de fundirse a 800 °C o 900 °C, el mismo que puede ser un caolín con punto de fusión básico, los cuales son como un elástico.

A una magnificación de 15.0 kx se puede observar que el cemento fue hidratado, teniendo como resultado la presencia de pequeñas agujas, que indican la formación de etringita que se da por la reacción del aluminato de calcio con el sulfato de calcio presentes en el cemento, un microcristal que permite entretejer, haciendo que la resistencia del mortero aumente. Este proceso se hace más evidente cuando se usa partículas más pequeñas de sílice, dando como resultado vínculos más visibles en morteros con sílice de tamaño menor a 38µm (pasante del tamiz N° 400).

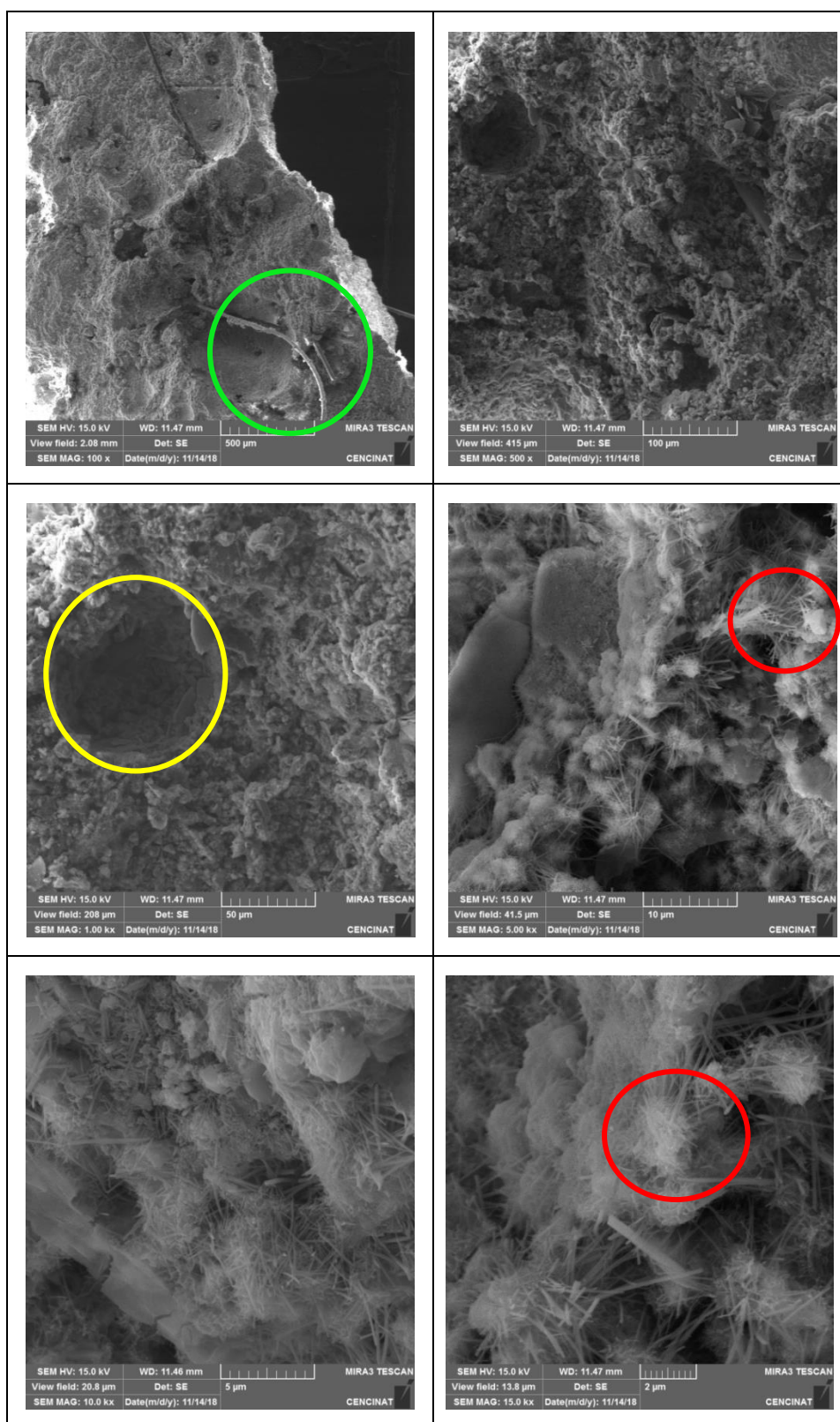


Figura 95 Micrografías de la muestra de mortero comercial a diferentes magnificaciones

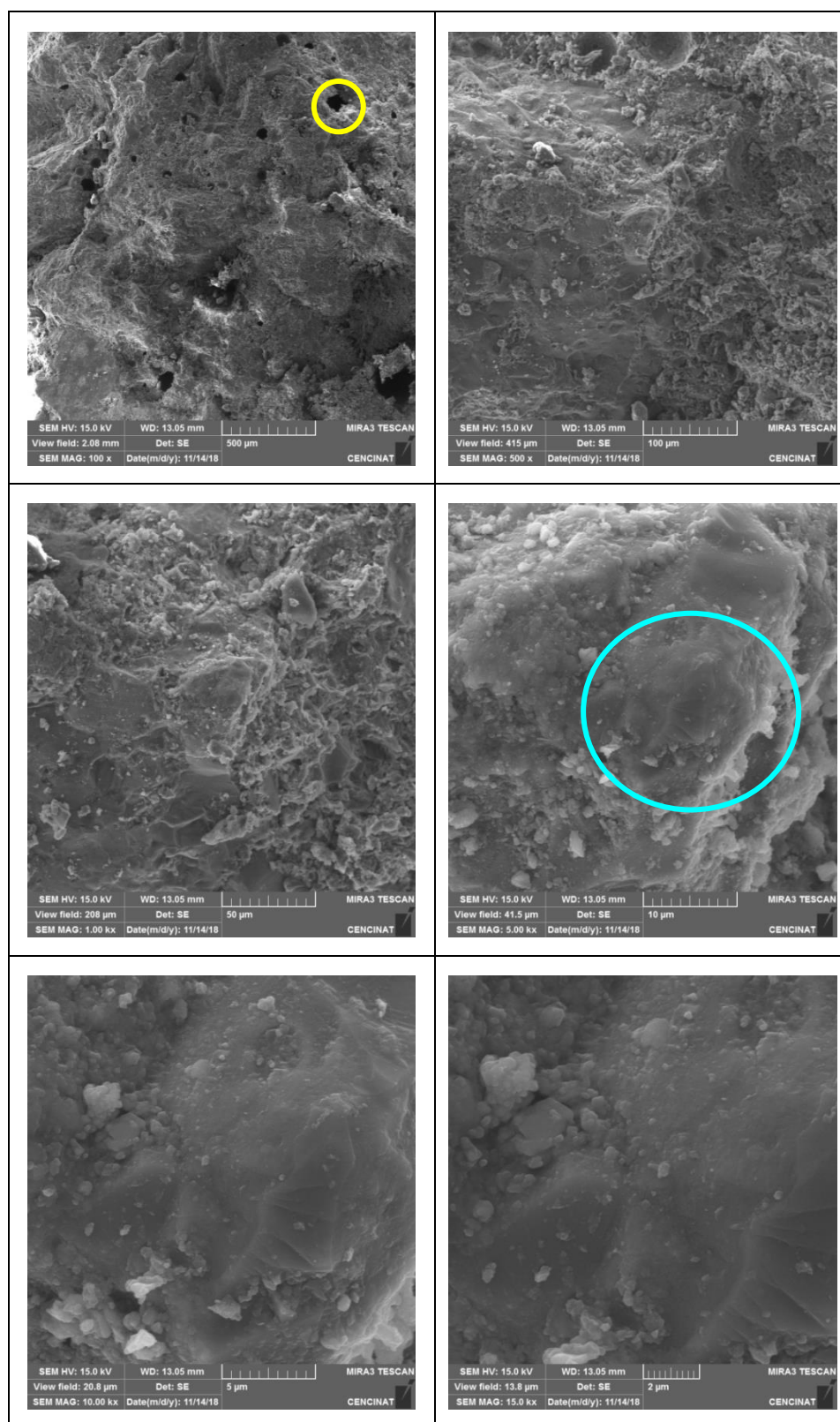


Figura 96 Micrografías de la muestra de mortero con 0% silica gel a diferentes magnificaciones

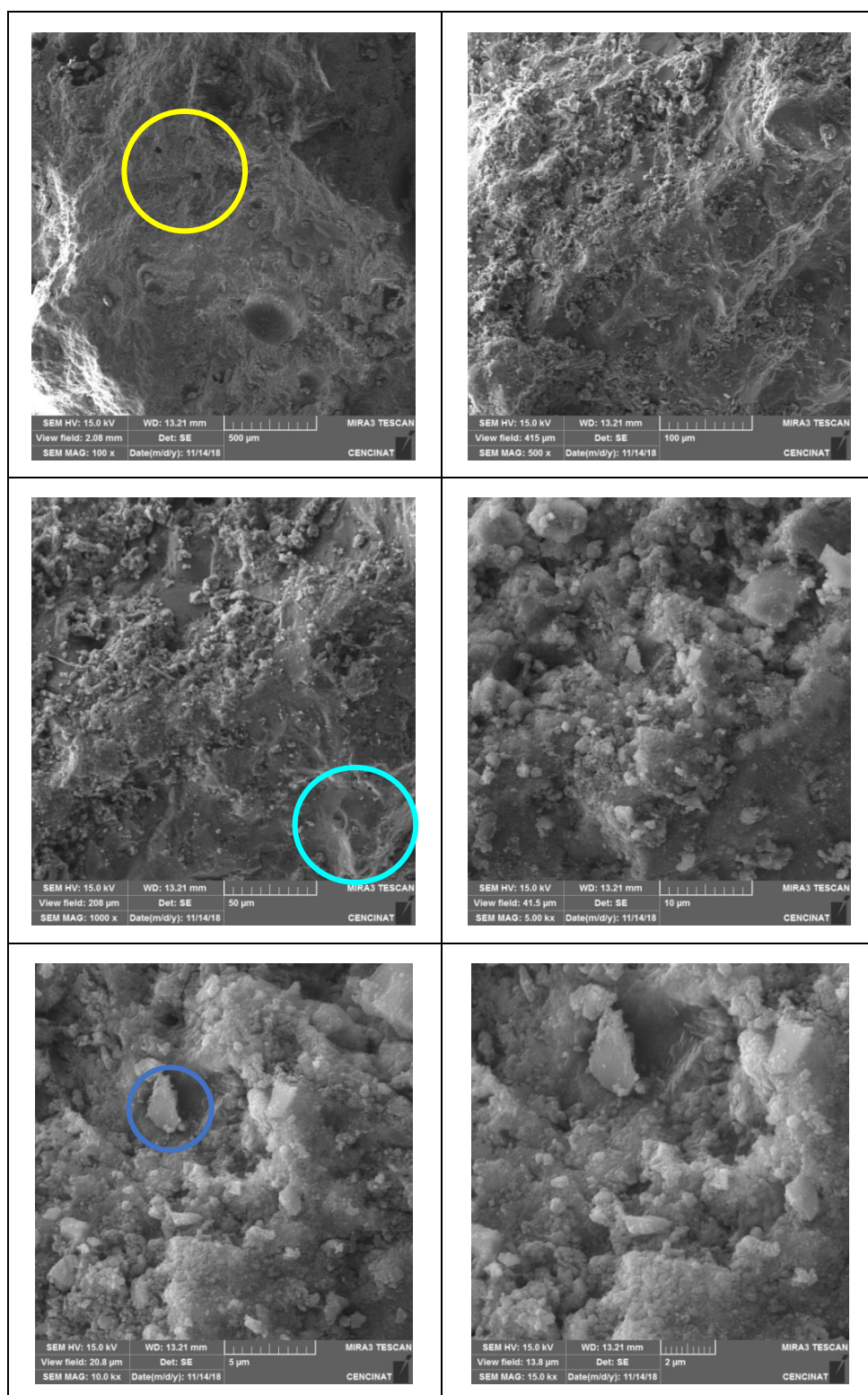


Figura 97 Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 200 a diferentes magnificaciones

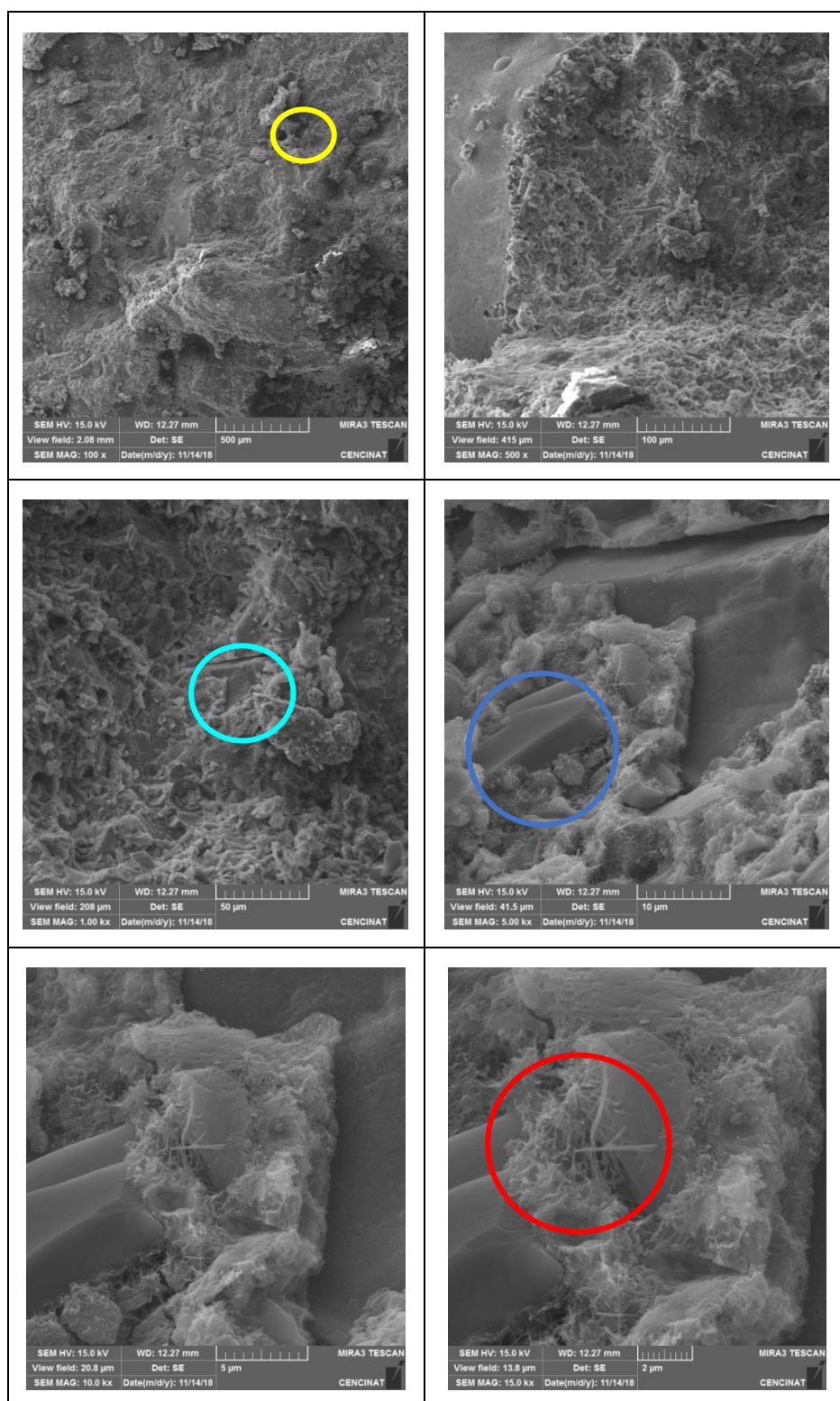


Figura 98 Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 270 a diferentes magnificaciones

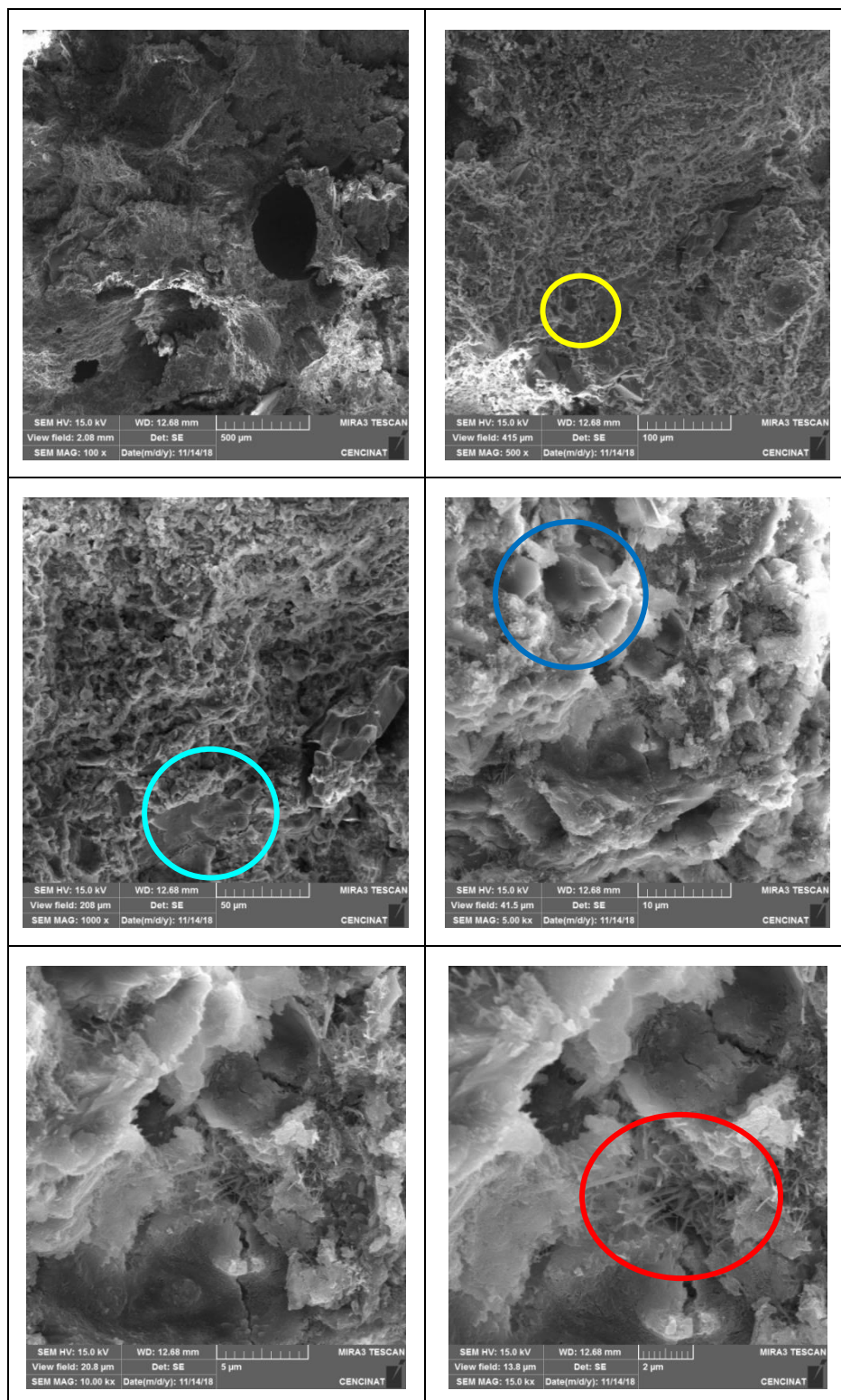


Figura 99 Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 325 a diferentes magnificaciones

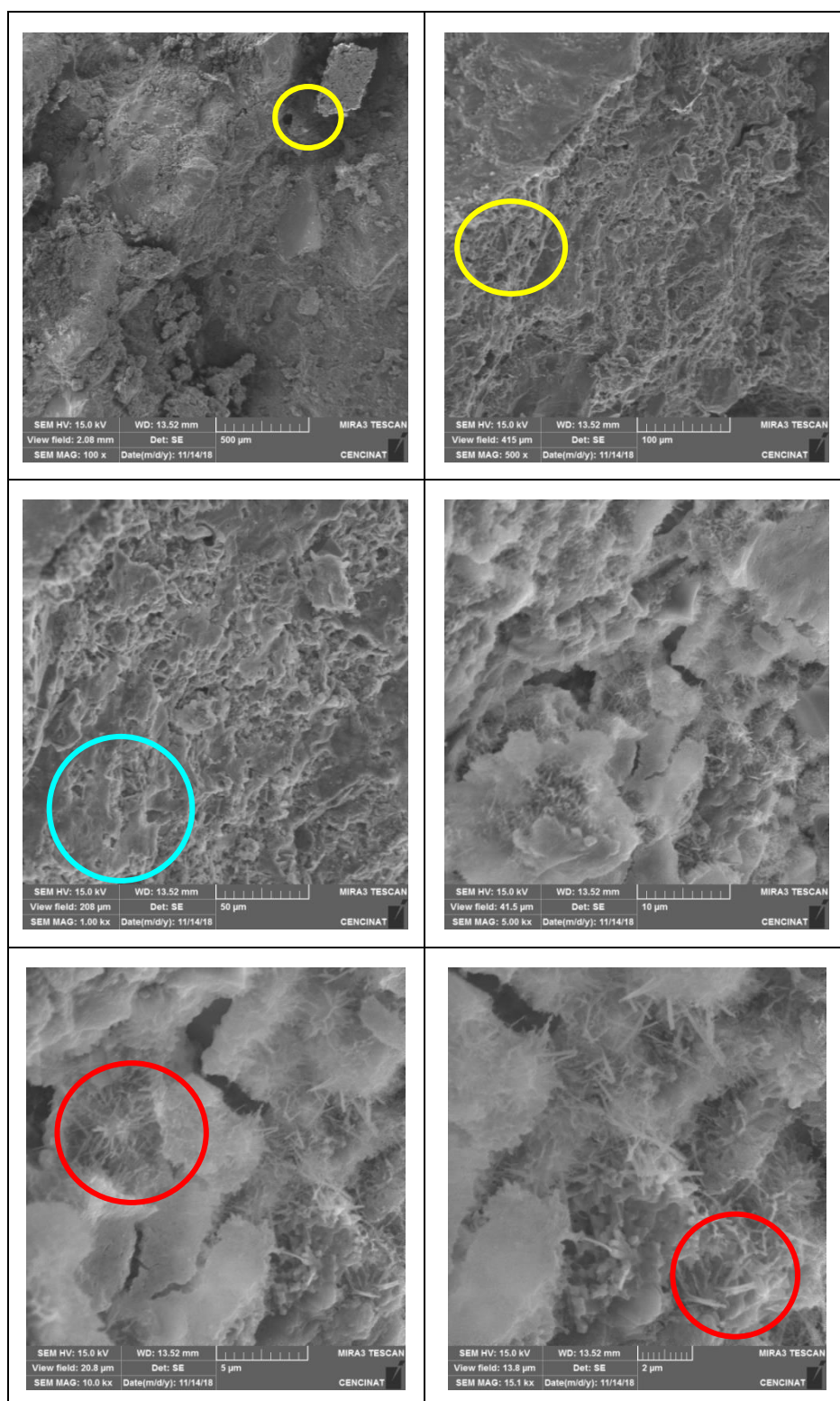


Figura 100 Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula retenida en el tamiz N° 400 a diferentes magnificaciones

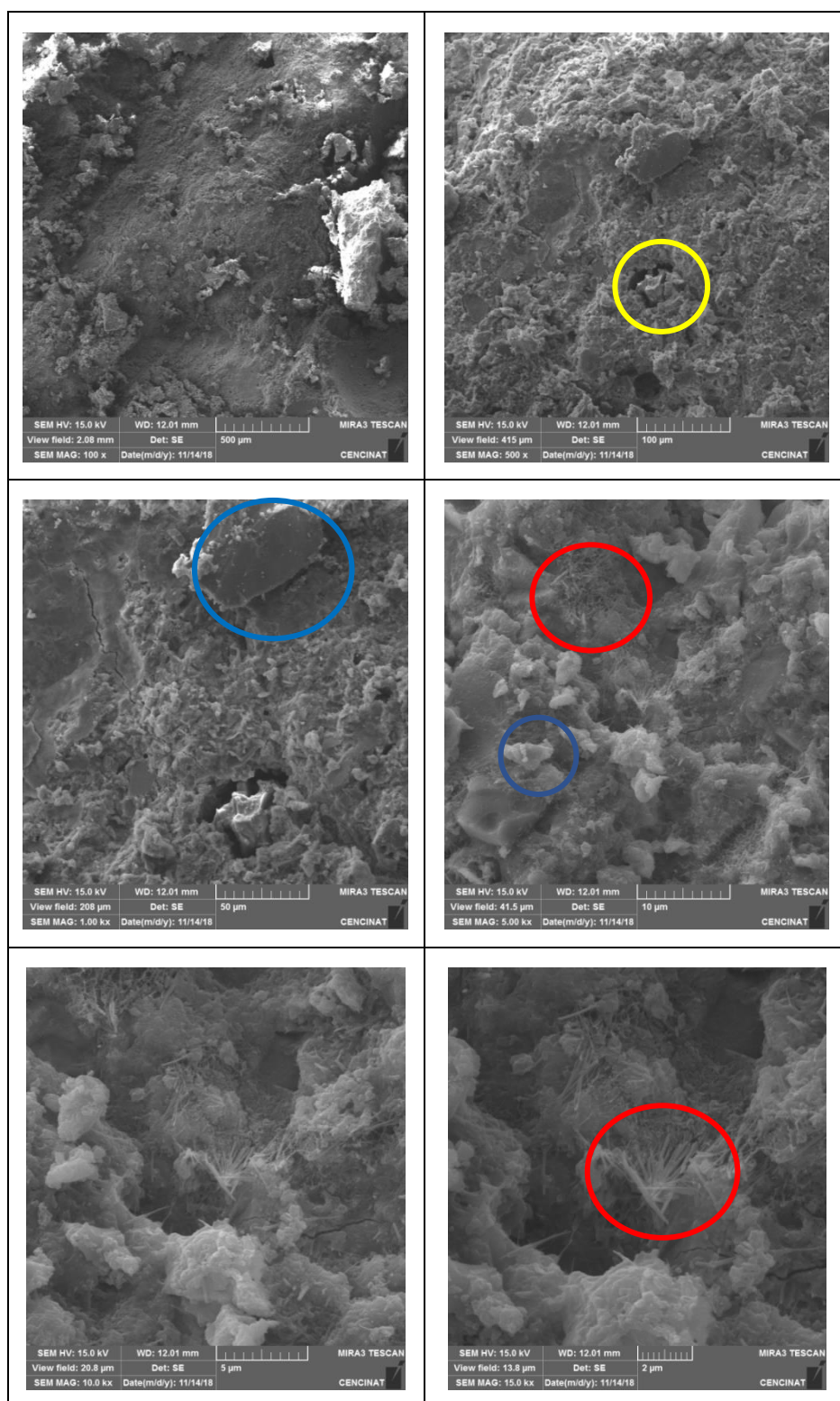


Figura 101 Micrografías de la muestra de mortero con 0.5% silica gel de tamaño de la partícula pasante del tamiz N° 400 a diferentes magnificaciones

Cabe recalcar que debido a que el ensayo se realizó en una pequeña parte de los especímenes de mortero los resultados no pueden ser generalizados, porque lo determinado anteriormente puede estar sucediendo únicamente en una parte específica de la muestra ensayada.

5.6. Análisis de costos

A continuación, se realizó el análisis de costos por m² de la dosificación de morteros elaborados con residuos de cerámica sanitaria reciclada con y sin la presencia de silica gel, así como también los costos de marcas comerciales.

Para realizar el siguiente análisis de costos se consideró los siguientes materiales: 1 saco de cemento con un valor de \$ 8.10, 1 m³ de arena a \$ 10.25, frasco de silica gel a \$25.00.

Para la cerámica se tomó un valor mínimo puesto que un gran porcentaje de este material es llevado a botaderos.

Como se puede observar en la Tabla 141 se presenta un valor de \$ 2.12 para mortero elaborado con residuos de cerámica sanitaria reciclada (mortero patrón), seguido de \$ 2.16 con árido de cantera o mina (ver, Tabla 144), el mortero con adición de silica gel tiene un valor de \$ 2.57 (ver, Tabla 142) y \$ 2.87 de un mortero de marca comercial tomando en cuenta sus especificaciones (ver, Tabla 143).

Tabla 141*Costo del mortero elaborado con cerámica sanitaria reciclada sin silica gel*

| EQUIPOS | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C = A * B | R | D = C * R |
| Herramienta Menor (5% MO) | | | | | \$0,06 |
| SUBTOTAL M | | | | | \$0,06 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN (CATEG) | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C = A * B | R | D = C * R |
| Albañil (E.O. D2) | 1,00 | \$3,55 | \$3,55 | 0,22 | \$0,78 |
| Peón (E.O. E2) | 1,00 | \$3,51 | \$3,51 | 0,1 | \$0,35 |
| SUBTOTAL N | | | | | \$1,13 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNIT | COSTO | |
| | | A | B | C = A * B | |
| Cemento | saco | 0,06 | \$8,10 | \$0,47 | |
| Agua | m ³ | 0,0014 | \$0,44 | \$0,001 | |
| Cerámica | m ³ | 0,01 | \$5,00 | \$0,03 | |
| SUBTOTAL O | | | | | \$0,50 |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) | | | | | \$1,69 |
| INDIRECTOS Y UTILIDADES % | | | | 25% | \$0,42 |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO | | | | | \$2,12 |
| VALOR TOTAL | | | | | \$2,12 |

Tabla 142*Costo de mortero elaborado con cerámica sanitaria reciclada con silica gel*

| EQUIPOS | | | | | |
|------------------------------|-----------------|------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C = A * B | R | D = C * R |
| Herramienta Menor (5% MO) | | | | | \$0,06 |
| SUBTOTAL M | | | | | \$0,06 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN (CATEG) | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C = A * B | R | D = C * R |
| Albañil (E.O. D2) | 1,00 | \$3,55 | \$3,55 | 0,22 | \$0,78 |
| Peón (E.O. E2) | 1,00 | \$3,51 | \$3,51 | 0,1 | \$0,35 |
| SUBTOTAL N | | | | | \$1,13 |

CONTINÚA



| MATERIALES | | | | |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|--------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNIT | COSTO |
| | | A | B | C = A * B |
| Cemento | saco | 0,06 | \$8,10 | \$0,47 |
| Agua | m ³ | 0,0014 | \$0,44 | \$0,001 |
| Cerámica | m ³ | 0,01 | \$5,00 | \$0,03 |
| Silica gel | frasco | 0,0145 | \$25,00 | \$0,36 |
| SUBTOTAL O | | | | \$0,87 |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) | | | | \$2,06 |
| INDIRECTOS Y UTILIDADES % | | | 25% | \$0,51 |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO | | | | \$2,57 |
| VALOR TOTAL | | | | \$2,57 |

Tabla 143*Costo de mortero de marca comercial*

| EQUIPOS | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C = A * B | R | D = C * R |
| Herramienta Menor (5% MO) | | | | | \$0,04 |
| SUBTOTAL M | | | | | \$0,04 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN (CATEG) | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C = A * B | R | D = C * R |
| Albañil (E.O. D2) | 1,00 | \$3,55 | \$3,55 | 0,25 | \$0,89 |
| SUBTOTAL N | | | | | \$0,89 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNIT | COSTO | |
| | | A | B | C = A * B | |
| Marca Comercial | saco | 0,23 | \$6,00 | \$1,36 | |
| SUBTOTAL O | | | | | \$1,36 |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) | | | | | \$2,30 |
| INDIRECTOS Y UTILIDADES % | | | | 25% | \$0,57 |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO | | | | | \$2,87 |
| VALOR TOTAL | | | | | \$2,87 |

Tabla 144*Costo de mortero con árido de cantera o mina*

| EQUIPOS | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | TARIFA | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C = A * B | R | D = C * R |
| Herramienta Menor (5% MO) | | | | | \$0,06 |
| SUBTOTAL M | | | | | \$0,06 |
| MANO DE OBRA | | | | | |
| DESCRIPCIÓN (CATEG) | CANTIDAD | JORNAL/HR | COSTO HORA | RENDIMIENTO | COSTO |
| | A | B | C = A * B | R | D = C * R |
| Albañil (E.O. D2) | 1,00 | \$3,55 | \$3,55 | 0,22 | \$0,78 |
| Peón (E.O. E2) | 1,00 | \$3,51 | \$3,51 | 0,1 | \$0,35 |
| SUBTOTAL N | | | | | \$1,13 |
| MATERIALES | | | | | |
| DESCRIPCIÓN | UNIDAD | CANTIDAD | PRECIO UNIT | COSTO | |
| | | A | B | C = A * B | |
| Cemento | saco | 0,06 | \$8,10 | \$0,47 | |
| Agua | m ³ | 0,0014 | \$0,44 | \$0,001 | |
| Arena | m ³ | 0,01 | \$10,25 | \$0,07 | |
| SUBTOTAL O | | | | | \$0,54 |
| TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P) | | | | | \$1,73 |
| INDIRECTOS Y UTILIDADES % | | | | 25% | \$0,43 |
| COSTO TOTAL DEL RUBRO | | | | | \$2,16 |
| VALOR TOTAL | | | | | \$2,16 |

CAPÍTULO VI

6.1. CONCLUSIONES

- El agregado para la elaboración de los morteros fue realizado por tamización a base de residuos de cerámica sanitaria reciclada según los parámetros que se indican en la norma (NTE INEN 2 518, 2010). Obteniendo así los siguientes resultados en la caracterización: peso específico de 2.467 g/cm^3 , módulo de finura de 2.1 y porcentaje de absorción de 0.7%.
- Al utilizar 100% de residuos de cerámica sanitaria reciclada se obtuvo la resistencia de 238.05 kg/cm^2 , la misma que es superior a la mínima especificada en la norma (NTE INEN 2 518, 2010), y esta se tomó como mortero patrón.
- En los ensayos de resistencia a la compresión de mortero con diferentes porcentajes (0%, 0.5%, 1%, 2%, 3%, 4% y 5%) de silica gel se obtuvieron resistencias superiores al valor mínimo 17.2 MPa (175.39 kg/cm^2) según la norma (NTE INEN 2 518, 2010), siendo el mayor resultado 265.90 kg/cm^2 perteneciente a los morteros con 0.5% de silica gel.
- Los morteros con adición superior de 3% de silica gel presentan una disminución de resistencia a la compresión en relación a los especímenes sin presencia del mismo.
- Las micrografías de la muestra de silica gel presentan el tamaño de las partículas pasantes del tamiz N° 400, las mismas que se encuentran en un rango de $4\mu\text{m}$ a $20\mu\text{m}$, esta variación sucede debido a que la trituration fue de forma manual.
- En todos los resultados de los ensayos a compresión de morteros con diferentes tamaños de partícula de silica gel se obtuvieron valores superiores al especificado en la norma (NTE INEN 2 518, 2010), el mayor valor es de 288.13 kg/cm^2 que se tiene cuando la

partícula es menor a $38\mu\text{m}$ (pasante tamiz N°400), en un mortero de marca comercial sucede lo contrario, debido a que presenta una resistencia de 45.45 kg/cm^2 .

- En referencia al fraguado se determinó que mientras la partícula de silica gel sea más pequeña presenta un fraguado más rápido teniendo como resultado un fraguado inicial de 117 minutos con una reducción de aproximadamente 46% en relación a un mortero sin sílice.
- Las partículas de silica gel en tamaños granulares presentan forma de cristal pero al realizar un análisis de difracción de rayos X (XRD) se demostró que presenta una estructura amorfa, mientras que la cerámica tiene un estructura cristalina debido a que en el espectro se puede observar una serie de picos.
- Mediante un ensayo de composición química (EDS) realizado a las muestras de mortero se pudo determinar que los elementos más predominantes son el Oxígeno (O), Silicio (Si) y Calcio (Ca), se tiene la presencia de porcentajes en peso de Aluminio (Al), lo que nos indica la presencia de minerales como anortita debido a que existe un gran porcentaje de Calcio, también se puede ver una mínima cantidad de Sodio (Na), lo que evidencia la existencia de albita.
- Con la Micrografía Electrónica de Barrido (SEM) lo primero que se pudo observar es una serie de microporos, así como también que es un material heterogéneo, presenta gránulos, se tiene gran abundancia de estructuras amorfas que dentro del punto de vista mineralógico son fluidos altamente viscosos los mismos que permiten que la muestra fleje.

- En las micrografías se puede observar etringita la misma que es más visible cuando el tamaño de la partícula de sílica gel es más pequeña, en los microorificios pueden existir presencia de cristales los que hacen que la resistencia aumente. Mediante este estudio no se puede generalizar las propiedades del mortero ensayada, debido a que el estudio se realizó a un lugar específico de una pequeña parte de los especímenes de mortero.
- En cuanto a los resultados del módulo de rotura se llegó a demostrar que va aumentando mientras la partícula de sílica gel es menor a $38\ \mu\text{m}$ (pasante del tamiz N° 400), esto puede ser debido a que, cuando la partícula de sílica gel es más pequeña va llenando espacios permitiendo así que el mortero tenga más flexibilidad.
- Al realizar una comparación de un enlucido con un mortero con arena elaborada con residuos de cerámica sanitaria y adicionando el 0.5% de sílica gel con un tamaño de partícula menor a $38\ \mu\text{m}$ (pasante de tamiz N° 400) y un mortero comercial se dedujo que el mortero comercial presenta un mejor acabado mientras que el mortero elaborado en esta investigación tuvo un acabado rugoso, adicionalmente ninguno de los dos morteros presentaron fisuras.

6.2. RECOMENDACIONES

- El usar residuos de cerámica sanitaria reciclada en morteros para mampostería es una de las opciones que muchas empresas pueden tomar para hacerse cargo de los desperdicios que crean, y de esta forma ayudar a disminuir la contaminación ambiental, debido a que un gran porcentaje de estos desechos son llevados a botaderos, provocando así impacto visual y un foco de contaminación porque son materiales que no se degradan y podrían pasar varios siglos inalterados.
- Utilizar residuos sólidos de varios tipos como materiales alternativos para reemplazar los áridos naturales es muy importante, porque mediante eso se puede evitar los altos índices de explotación de materiales pétreos (canteras y minas), los mismos que nunca volverán a tener su forma natural, debido a que estos materiales son recursos no renovables, siendo esta la principal causa de los impactos ambientales.
- Para trabajar con materiales como el silica gel es necesario utilizar equipo de protección, para evitar que pequeñas partículas del material afecten físicamente a órganos como los ojos, así como también puedan incrustarse en la piel, debido a que en estado seco son como cristales.
- Realizar estudios de morteros con partículas de silica gel menores a $4\mu\text{m}$, para determinar si la resistencia sigue aumentando o disminuye.
- Utilizar otros polímeros de menor costo con propiedades parecidas a los de la silica gel, y realizar ensayos de compresión para verificar si se mantienen los resultados obtenidos en esta investigación.

- Elaborar hormigones reemplazando el 100% de áridos finos por residuos de cerámica sanitario reciclada para determinar si presentan una resistencia óptima o adecuada.
- Debido a que el mortero con adición de silica gel presenta un tiempo de fraguado más rápido que un mortero sin silica gel se recomienda ser usado en regiones húmedas.

REFERENCIAS

- AFAM. (2003). *Morteros Guía General*. Madrid: AENOR.
- Asociación Nacional de Fabricantes de Mortero (AFAM). (2009). *Recomendaciones y Pliego de Condiciones para Revestimientos de Mortero*. Madrid: AENOR.
- Azkárate, I., Ballester, P., Coll, R., Lechuga, J., Masó, D., Millán, M., . . . Tébar, A. (2006). *Morteros de Revestimiento*. Madrid: AFAM.
- Baena Extremera, A., Gómez López, M., & Granero Gallegos, A. (2012). La sostenibilidad del medio ambiente a través de las actividades físico-deportivas en el medio natural y su importancia en la educación ambiental. *Educación Ambiental*, 173-193.
- Bolaños Noboa, J. S. (2015). *Estudio del uso de materiales reciclados como hormigones, cerámicas y otros productos de derrocamiento o desperdicio de obra como agragados para un hormigón*. Quito.
- Castells, X. E. (2012). Residuos destinados a la fabricación de materiales aislantes. En *Reciclaje de residuos industriales* (págs. 263-339). Madrid: Díaz de Santos.
- Chicaiza Casa, C. A., & Guerra Bastidas, G. J. (2017). “*Estudio del uso de residuos cerámicos como sustituto de un porcentaje del cemento para la fabricación de morteros*”. Quito.
- Collado Trabanco, P. (2015). *Manual práctico del encargado en obra*. Asturias: Lex Nova S.A.
- Das, B. M. (2001). *Fundamentos de Ingeniería geotécnica*. México. D. F.: Thomson Learning.
- De Guzmán Báez, A. (2010). *Estudio de las propiedades fundamentales de elementos prefabricados de hormigón no estructurales, con incorporación de árido reciclado en su fracción gruesa y fina*. Madrid.
- Del Olmo Rodríguez, C. (1994). Los morteros. Control de calidad. *Instituto Eduardo Torroja-CSIC*, 57-73.
- EMGIRS-EP. (Octubre de 2013). *Empresa Pública Metropolitana de Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Obtenido de <https://www.emgirs.gob.ec/index.php/zenkit/visitas-al-relleno-sanitario-2>
- Fernández Ledesma, E. (2016). *Aplicación de residuos en la fabricación de morteros industriales*. Córdoba.
- Gadea Sáinz, J., Calderón Carpintero, V., & Gutiérrez González, S. (2011). *Materiales de construcción. Problemas de dosificación*. Burgos: Servicio de publicaciones e imagen institucional Universidad de Burgos.
- García Díaz, I., & Puertas Maroto, F. (2011). *Empleo de residuos cerámicos como materia prima alternativa en la fabricación de cemento Pórtland*. Madrid: CSIC.

- Gómez Crespo, M. Á., & Cañamero Lancha, A. (2010). *Juguetes y polímeros superabsorbentes*. Madrid, España.
- Gomezjurado Sarria, J., Sánchez de Guzmán, D., Osorio Redondo, J. D., & Niño Hernández, J. R. (2010). *Tecnología del Concreto. Tomo1*. Bogotá: Nómos.
- Grupo Haiyang Yinhai España S.L. (19 de Abril de 2018). Obtenido de <http://www.geldesilice.com/es/gel-de-silice/caracteristicas-del-gel-de-silicesilicagel/26>
- Gutiérrez López, B. L. (2018). *Fabricación de morteros geopoliméricos ecoamigables a partir de residuos inorgánicos mineros como producto alternativo a morteros de cemento Portland*. Arequipa.
- Hermida, É. (2011). *Polímeros*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Hevia, R. (2012). Materias primas: importancia de su conocimiento para la formulación cerámica. *Cerámica y cristal*, 48-50.
- INEC - AME. (2015). *Ecuador Cifras*. Obtenido de Girs - Gestión Integral de Residuos Sólidos: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Gestion_Integral_de_Residuos_Solidos/Presentacion%20GIRS%202015.pdf
- Lafuerza Abel, D. (2014). *Análisis de las propiedades de hormigones de altas resistencias fabricados con residuos mixtos y cerámicos*. Barcelona.
- López Carrasquero, B. (2004). *Fundamentos de polímeros*. Venezuela: Smart Service C.A.
- López Gayarre, F. (2008). *Influencia de la variación de los parámetros de dosificación y fabricación de hormigón reciclado estructural sobre sus propiedades físicas y mecánicas*. Gijón.
- Marrero Rodríguez, M. S. (2011). *Empleo de la escoria de acería como árido para fabricar morteros*. La Habana: cujae.
- Martínez Herrera, I., Pavón de la Fé, E., Etxeberria Larrañaga, M., & Díaz Brito, N. (2012). *Caracterización de áridos reciclados de composición mixta para su empleo en morteros de albañilería*. Habana: Convención científica de ingeniería y arquitectura.
- Medida Martínez, C., Sánchez de Rojas Gómez, M. I., & Frías Rojas, M. (2015). *Valorización de árido cerámico de sanitarios como árido reciclado en la fabricación de hormigones estructurales eco-eficientes*. Madrid: CSIC.
- Medina, C., Frías, M., Sánchez de Rojas, M., Morán, J. M., & Guerra, M. (2011). Caracterización de los hormigones realizados con áridos reciclados procedentes de la industria de cerámica sanitaria. *Materiales de Construcción*, 533-545.
- Medina, C., Juan, A., Frías, M., Sánchez de Rojas, M. I., Morán, J. M., & Guerra, M. I. (2011). Caracterización de los hormigones realizados con áridos reciclados procedentes de la industria de cerámica sanitaria. *Materiales de Construcción*, 5,6,7.

- Meza Hajar, F. E. (2004). *Estudio de mortero de mediana a baja resistencia de cemento con adición de cal aérea*. Lima.
- Mora Abril, D. B. (2014). *Caracterización del hormigón resultante de utilizar el desecho de la industria cerámica de la ciudad de Cuenca como agregado grueso*. Cuenca.
- Narvaéz Padilla, F. E. (2012). *"Utilización a nivel de laboratorio de los desechos de cerámica sanitaria generada en la fábrica Edesa para la fabricación de adoquines cerámicos"*. Quito.
- NTE INEN 2 518. (2010). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 2 518. Morteros para unidades de mampostería. Requisitos. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 155. (2009). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 155. Cemento hidráulico. Mezclado mecánico de pastas y morteros de consistencia plástica. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 157. (2009). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 157. Cemento Hidráulico. Determinación de la consistencia normal. Método de Vicat. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 158. (2009). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 158. Cemento Hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado. Método Vicat. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 195. (2009). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 195 Cemento hidráulico. Determinación del contenido de aire en morteros. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 198. (2009). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 198. Cementos. Determinación de la resistencia a la flexión y a la compresión de morteros. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 2 536. (2010). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 536:2010. Áridos para uso en morteros para mampostería. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 2 566. (2010). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 2 566. Áridos. Reducción de muestras a tamaño de ensayo. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 488. (2009). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 488. Cemento Hidráulico. Determinación de la resistencia a la compresión de morteros en cubos de 50 mm de arista. Quito, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 695. (2010). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 695. Áridos. Muestreo. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.

- NTE INEN 696. (2011). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 696. Áridos. Análisis granulométrico en los áridos fino y grueso. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 856. (2010). Norma Técnica Ecuatoriana. INEN 856. Áridos. Determinación de la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del árido fino. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 858. (2010). Norma Técnica Ecuatoriana INEN 858. Áridos. Determinación de la masa unitaria (peso volumétrico) y el porcentaje de vacíos. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- NTE INEN 862. (2011). Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 862:2011. Áridos para hormigón. Determinación del contenido total de humedad. Quito, Pichincha, Ecuador: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Pinto, A. (2011). *Materiales y materias primas. Capítulo 6*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Educación Tecnológica.
- Puertas, F., Barba, A., Gazulla, M., Gómez, M., Palacios, M., & Martínez-Ramírez, S. (2006). Residuos cerámicos para su posible uso como materia prima en la fabricación de clínker de cemento Portland: caracterización y activación alcalina. *Materiales de Construcción*, 74-75.
- Quiroz Crespo, M. V., & Salamanca Osuna, L. E. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de "tecnología del hormigón"*. Cochabamba.
- Ramírez, A. (2002). *La construcción sostenible*.
- Rivera García, J. J., Ramírez Fernández, J. A., & Cruz Gámez, E. M. (2017). Yacimiento de talco en el Estado de Nuevo León. *Geomimet*, 15-16.
- Rivera L., G. A. (s.f.). *Concreto Simple*. Popayan: Universidad del Cauca.
- Rivera Morales, j. (2012). *Aplicabilidad de residuos mixtos y cerámicos en materiales cementíceos*. Barcelona.
- Rodríguez Mora, O. (2004). *Morteros para fábricas*. Madrid: AFAM.
- Salvador Simons, O. A. (2015). *Utilización de desecho cerámico de la fábrica de sanitarios EDESA, para la fabricación de adoquines*. Quito.
- Sánchez De Guzmán, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Santafé de Bogotá: BHANDAR EDITORES LTDA.
- Sánchez de Guzmán, D., & Osorio Redondo, J. D. (2005). *Tecnología y Propiedades*. Colombia: ISBN.

- Silva, J., de Brito, J., & Veiga, R. (2010). Recycled red - clay ceramic construction and demolition waste for mortars production. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(3), 236-244.
- Tittonell, P. A., De Grazia, J., & Chiesa, A. (2002). *Adición de polímeros superabsorbentes en el medio de crecimiento para la producción de plantines de pimiento*. Buenos Aires, Argentina.
- Tortajada, I., Peris-Fajarnés, G., Aguilar, M., & Latorre, P. (2006). Análisis del proceso de clasificación cerámico. *Boletín de la Sociedad Española de Cerámica y Vidrio*, 22-27.
- Vásquez Malagón, E. d. (2005). *Materiales cerámicos. Propiedades, aplicaciones y elaboración*. México: UNAM Colección CIDI.
- Yarasca Gabriel, A. R. (2015). *Reutilización de residuos de cerámica sanitaria en la fabricación de morteros de activación alcalina: uso de árido y como matriz*. Valencia.
- Zito, S., Irassar, E., & Rahhal, V. (2016). Estudio sobre pastas y morteros de cemento portland con reemplazo por loza sanitaria. *Avances de Ciencias e Ingeniería*, 57-66.