



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**

**TEMA: DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL GEL DE
SÍLICE ABSORBENTE EN EL HORMIGÓN**

**AUTORES: RUGEL PARDO FERNANDO JAVIER
ZAMORA CARVAJAL DIEGO FERNANDO**

DIRECTOR: ING. BONIFAZ HUGO Mg.

SANGOLQUÍ

2016

CERTIFICADO

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. **RUGEL PARDO FERNANDO JAVIER** y el Sr. **ZAMORA CARVAJAL DIEGO FERNANDO** como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

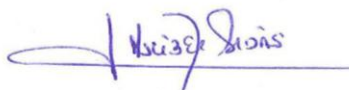
Sangolquí, Octubre de 2016



ING. BONIFAZ HUGO Mg.

DIRECTOR

REVISADO POR



ING. ALDÁS MARIBEL

DIRECTORA DE LA CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

RUGEL PARDO FERNANDO JAVIER

Declaro que:

El trabajo de titulación denominado **“DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL GEL DE SÍLICE ABSORVENTE EN EL HORMIGÓN”**, ha sido desarrollado en base a una investigación adecuada, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las referencias que constan en las páginas, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del proyecto de titulación en mención.

Sangolquí, Octubre de 2016.



RUGEL PARDO FERNANDO JAVIER

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

ZAMORA CARVAJAL DIEGO FERNANDO

Declaro que:

El trabajo de titulación denominado “**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL GEL DE SÍLICE ABSORVENTE EN EL HORMIGÓN**”, ha sido desarrollado en base a una investigación adecuada, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las referencias que constan en las páginas, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del proyecto de titulación en mención.

Sangolquí, Octubre de 2016.




ZAMORA CARVAJAL DIEGO FERNANDO

YO, RUGEL PARDO FERNANDO JAVIER

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual del trabajo de titulación denominado **“DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL GEL DE SÍLICE ABSORVENTE EN EL HORMIGÓN”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Octubre de 2016



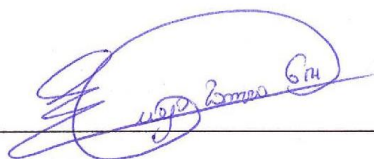
RUGEL PARDO FERNANDO JAVIER

AUTORIZACIÓN

YO, ZAMORA CARVAJAL DIEGO FERNANDO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación en la biblioteca virtual del trabajo de titulación denominado **“DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL GEL DE SÍLICE ABSORVENTE EN EL HORMIGÓN”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Octubre de 2016



ZAMORA CARVAJAL DIEGO FERNANDO

AUTORIZACIÓN

DEDICATORIA

Dedico todo mi esfuerzo a mis padres, Abel y Lucila, que al no tener los recursos necesarios, siempre se dieron modos de tenerme al frente de todo, diciendome “sigue adelante, no te rindas, tu eres el mejor” siempre pensando en mí antes.

A mis hermanos, Alejandro, Roberto y Esteban por su amor, carisma, comprensión, paciencia, consejos, valores, motivación y a enseñarme que la persona va antes de un título, lo que me ha permitido llegar a ser una mejor persona.

A toda mi familia que aunque estando lejos siempre está pensando en mí.

A todos mis grandes amigos, que han sido como familia, estando siempre a mi lado, y de alguna o otra manera se vieron involucrados en este trabajo de tesis con su apoyo incondicional.

Rugel Pardo Javier Fernando

Este proyecto de titulación va dedicado a mi hermosa familia, que durante el transcurso de mi vida estudiantil han sabido inculcarme sabios consejos y animosas palabras, que han servido para enfrentar dificultades y sobresalir con esmero de estas, llegando con ello alcanzar el éxito.

A mis abuelitos Bernardino y Bertha, que junto con mis padres han sido mi inspiración, para este logro alcanzado.

A mi querida hermana que siempre ha estado en los momentos más difíciles, siendo ella un ejemplo para mí, compartiéndome sus conocimientos y velando siempre por mi bienestar.

A mis amigos, con los cuales he compartido conocimientos del diario vivir y académicos, haciendo de esta etapa de mi vida una inolvidable experiencia.

Al Ing. Hugo Bonifaz, por creer desde un inicio en el valor y la dedicación que le daría a este proyecto de titulación, que con sus sabios conocimientos se alcanzó las metas establecidas.

Zamora Carvajal Diego Fernando

AGRADECIMIENTO

La finalización de este proyecto, es para todas las personas que, a través del tiempo han llegado a ser muy queridos para mí, siendo quienes me ayudaron a culminar una de las metas que me trace, y así dar por terminado uno de mis sueños.

A mis padres, quienes siempre han dado su mano para poder lograr mis metas, y su infinito amor.

A mis hermanos, por brindarme siempre muestra de afecto y cariño, y darme el empujen que siempre hace falta.

A mis profesores, Hugo Bonifaz y Juan Haro, quienes siempre estuvieron pendientes y dedicados a nuestra investigación.

Mi último agradecimiento, pero por nada el menos importante, va dirigido para mis amigos, Pablo, Diego, Cristian, Paul y Henry por su gran apoyo y amistad.

Rugel Pardo Javier Fernando

El agradecimiento de esta tesis va en primer lugar a Dios, por bendecirme en cada paso que doy, llenándome de fuerzas para no decaer en el camino, permitiéndome alcanzar mis sueños.

Agradezco a mis padres Luis Zamora y Bertha Carvajal, quienes con su gran amor y comprensión, han sido el factor motivante para alcanzar cada triunfo en mi vida. A mi hermana Carla Zamora, por sentirse orgullosa de su hermano y ser un ejemplo para mí.

A mis abuelitos, tíos y primos, los cuales me han enseñado sus grandes virtudes y han inculcado consejos para surgir en mi vida.

A mi tutor del proyecto de titulación el Ing. Hugo Bonifaz y su ayudante el Ing. Juan Haro, ya que con sus conocimientos supieron guiarme durante esta investigación, logrando así alcanzar el objetivo planteado.

Zamora Carvajal Diego Fernando

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO.....	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	iv
AUTORIZACIÓN.....	v
AUTORIZACIÓN.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT.....	xxiii
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Estado del arte.....	2
1.3. Justificación e importancia.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivo general.....	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Cemento.....	5
2.1.1. Definición.....	5
2.1.2. Química del Cemento.....	6
2.1.3. Hidratación del cemento.....	6
2.1.4. Formación de la pasta de cemento.....	7
2.1.5. Determinación de la consistencia Normal – Método de Vicat.....	9

2.1.6.	Compatibilidad de los aditivos con el Cemento.....	9
2.2.	Áridos o agregados	10
2.2.1.	Clasificación de los agregados	11
2.2.1.1.	Clasificación de los agregados según su origen.....	11
2.2.1.2.	Clasificación de los agregados según su tamaño	12
2.2.2.	Agregado Fino.....	12
2.2.3.	Agregado Grueso.....	13
2.2.4.	Granulometría.....	14
2.2.5.	Densidad, gravedad específica y absorción de los áridos.	15
2.2.5.1.	Densidad, gravedad específica y absorción del árido... grueso.....	15
2.2.5.2.	Densidad, gravedad específica y absorción del árido fino.	15
2.2.6.	Densidad suelta.	16
2.2.7.	Porcentaje de vacíos en los agregados.	16
2.2.8.	Humedad superficial de los materiales.....	16
2.2.9.	Desgaste de Materiales.....	17
2.3.	Agua.....	18
2.3.1.	Definición.....	18
2.3.2.	Agua de mezclado	18
2.3.3.	Agua de curado.....	19
2.4.	Aditivos.....	19
2.4.1.	Aditivos reductores de Agua.	20
2.4.2.	Reacción aditivos en el hormigón	20
2.4.3.	Beneficios de los aditivos en el hormigón	21
2.5.	Polímeros súper absorbentes (SAP).....	21
2.5.1.	Definición de Polímero (Sílica gel o gel de sílice).....	22
2.5.1.1.	Composición química del Sílica gel	22
2.5.1.2.	Coloración del sílica gel	23
2.5.1.3.	Reacción del sílica gel con los materiales que componen un hormigón... ..	23
2.5.1.4.	Sílica gel y su reacción ante el fraguado del cemento.	23
2.6.	Hormigón	24
2.6.1.	Hormigón fresco.....	24

2.6.1.1.	Manipulación del hormigón hidráulico.....	25
2.6.1.2.	Relación Agua-Cemento	25
2.6.2.	Resistencia del hormigón	25
2.6.3.	Ensayos en hormigones	26
2.6.3.1.	Resistencia a la compresión	26
2.6.3.2.	Resistencia a la flexión	26
2.6.3.3.	Contenido de aire.	27
2.6.4.	Curado de hormigones	28
2.6.4.1.	Método de curado en inundación o inmersión	28
	CAPÍTULO III	30
	CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES	30
3.1.	Cemento	30
3.2.	Áridos o agregados	31
3.2.1.	Origen de los materiales.....	31
3.2.2.	Ubicación, Características de la zona y explotación de la Mina.....	32
3.2.3.	Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados.....	34
3.2.3.1.	Granulometría	35
3.2.3.2.	Densidad aparente y peso específico	45
3.2.3.3.	Porcentaje de absorción	48
3.2.3.4.	Densidad Aparente suelta y compactada	51
3.2.3.5.	Contenido de Humedad	55
3.2.3.6.	Abrasión agregado Grueso.....	58
3.2.3.7.	Tamaño del Sílica gel empleado, para la elaboración del hormigón. ...	61
3.2.3.8.	Ensayos al Gel de Sílice.....	64
3.2.3.9.	Tiempo de fraguado del cemento.....	68
3.2.4.	Resumen de propiedades	72
	CAPÍTULO IV	74
	DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN	74
4.1.	Diseño de mezcla para resistencia de 300 Kg/cm ²	75
4.1.1.	Diseño de mezclas para 300 Kg/cm ²	78
4.2.	Método de diseño A.C.I. 211	79
4.2.1.	Selección del Asentamiento	80

4.2.2. Determinación del tamaño máximo del agregado	81
4.2.3. Estimación del contenido de aire.....	82
4.2.4. Cálculo de la cantidad de agua de mezclado	82
4.2.5. Determinación de la resistencia de diseño	83
4.2.6. Determinación de la relación agua/cemento	83
4.2.7. Determinación de la cantidad de cemento para el mezclado.....	84
4.2.8. Apreciación de las proporciones de los agregados.....	84
4.2.9. Ajustes a la mezcla por humedad de los agregados	85
4.2.10. Tabla de dosificación “hormigón de 300 Kg/cm ² ”	85
CAPÍTULO V	86
PROGRAMA DE ENSAYOS.....	86
5.1. Tiempo para la elaboración de ensayos.	86
5.2. Contenido de aire en el Hormigón.	87
5.3. Registro de temperatura en el hormigón durante el vaciado.....	89
5.4. Resistencia a la compresión a edades de 7, 14, 21 y 28 días.	90
5.5. Preparación de equipos para medir deformaciones.....	108
5.5.1. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón, método.....	
.....experimental	109
5.5.2. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón, propuesta.....	
.....A.C.I.	122
5.6. Resistencia a la flexión a edades de 7, 14, 21 y 28 días.....	124
5.7. Microscopia electrónica del gel de sílice o sílica gel	139
5.8. Análisis de Costos de producción del hormigón.....	156
CAPÍTULO VI.....	159
6.1. Conclusiones	159
6.2. Recomendaciones.....	161
6.3. Bibliografía	162
6.4. Anexos	166

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Cemento Portland Tipo 1 (Aconstructoras, 2016).....	5
Figura 2 Cristales de cemento hidratado.....	7
Figura 3 Aparato de Vicat. (INEN, 2009).....	9
Figura 4 Primer plano de un agregado fino “arena”.	10
Figura 5 Primer plano del agregado grueso “ripio”.	11
Figura 6 Agregado fino muestreado de la Mina de Píntag.	13
Figura 7 Agregado grueso ¾” y 1”, muestreado de la mina de Pifo “Disensa”.....	13
Figura 8 Granulometría del agregado Fino.	14
Figura 9 Granulometría del agregado Grueso.....	15
Figura 10 Proceso de saturación de un agregado. (Materiales, 2015)	16
Figura 11 Ensayo de abrasión con la Máquina de los Ángeles.....	17
Figura 12 El agua que el hombre usa para beber es ideal para el hormigón.....	18
Figura 13 Muestra de hormigón sumergido en agua de curado.	19
Figura 14 Aditivos líquidos.....	20
Figura 15 Sílica Gel o Gel de Sílice azul.	22
Figura 16 Coloración del Sílica, Azul sin hidratar, transparente con hidratación.	23
Figura 17 Fraguado del Cemento con la inserción del gel de sílice.....	24
Figura 18 Ensayo a la compresión de Cilindros de hormigón.	26
Figura 19 Ensayo a Flexión en vigas de hormigón.	27
Figura 20 Equipo para ensayo de contenido de aire. (Hernández, 2010)	27
Figura 21 Curado de un cilindro de hormigón y verificación de la temperatura.....	
.....del agua.	28
Figura 22 Curado de muestras de hormigón en piscina de curado	29
Figura 23 Cemento Holcim Fuerte.....	30
Figura 24 Panorámica de la Planta de Pifo y Panorámica del Mina Píntag	31
Figura 25 Panorámica de la Mina de Píntag.	32
Figura 26 Localización geográfica de la Mina de Píntag.....	32
Figura 27 Muestreo in situ, del material de Pintag.	33
Figura 28 Panorámica de la Planta de Holcim Pifo.	33
Figura 29 Localización geográfica de la Planta de Holcim Pifo.....	34

Figura 30 Muestreo in situ, del material de Pifo.....	34
Figura 31 Curva granulométrica agregado Fino “Pintag”.....	38
Figura 32 Curva granulométrica agregado Fino “Pifo HOLCIM”.....	39
Figura 33 Curva granulométrica agregado 1” (Pifo HOLCIM).....	40
Figura 34 Curva granulométrica agregado 3/4” (Pifo HOLCIM).....	41
Figura 35 Curva de la estabilidad granulométrica del agregado grueso.....	42
Figura 36 Curva granulométrica del agregado grueso.....	43
Figura 37 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de granulometría.....	44
Figura 38 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de densidad aparente..	47
Figura 39 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de absorción.....	50
Figura 40 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de densidad suelta..... y compactada.....	54
Figura 41 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de contenido de.....humedad.....	57
Figura 42 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de abrasión.....del agregado.....	61
Figura 43 Gel de sílice en tamaño de 4.0 a 2.38 mm, triturado a tamaño.....de 0.150 mm.....	61
Figura 44 Registro fotográfico del procedimiento de molienda para el gel de sílice.	63
Figura 45 Curva granulométrica del gel de sílice	64
Figura 46 Registro de microfotografías obtenidas con el microscopio electrónico...	65
Figura 47 Tamaño de partícula de Sílica Gel.....	66
Figura 48 Microscopio electrónico muestra una estructura amorfa del Sílica Gel....	67
Figura 49 Gráfica de tiempo de fraguado versus penetración.....	70
Figura 50 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de tiempos de.....fraguado.....	71
Figura 51 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo para contenido.....de aire.....	89
Figura 52 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0%	97
Figura 53 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 0.5%	98
Figura 54 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 1.0%	99
Figura 55 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 2.0%	100

Figura 56 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 3.0%	101
Figura 57 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 4.0%	102
Figura 58 Comparativa de valores de resistencias en cilindros a 7, 14, 21.....y 28 días.	103
Figura 59 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de compresión	104
Figura 60 Resultado del valor a la compresión para el cilindro N°23	106
Figura 61 Resultado del valor a la compresión para el cilindro N°23,	106
Figura 62 Resultado del valor a la compresión para el cilindro N° 31,	106
Figura 63 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo con el Esclerómetro.	107
Figura 64 Máquina Universal para Compresión.	108
Figura 65 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 0% de sílica gel.	111
Figura 66 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 0.5% de.....sílica gel.	113
Figura 67 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 1 % de sílica gel.	115
Figura 68 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 2 % de sílica gel.	117
Figura 69 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 3 % de sílica gel.	119
Figura 70 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 3 % de sílica gel.	121
Figura 71 Registro fotográfico del procedimiento para medir deformaciones	123
Figura 72 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0%	131
Figura 73 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 0.5%	132
Figura 74 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 1%	133
Figura 75 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 2%	134
Figura 76 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 3%	135
Figura 77 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 4%	136
Figura 78 Comparativa de valores para módulos de rotura en vigas a 7, 14, 21 y 28..... días.	137
Figura 79 Registro fotográfico del procedimiento para el ensayo de flexión en vigas.....	138
Figura 80 Registro del procedimiento para el ensayo de microscopia electrónica ..	139
Figura 81 Microscopía con acercamiento de 500 um.	141
Figura 82 Microscopía con acercamiento de 100 um.	162
Figura 83 Microscopía con acercamiento de 50 um.	144

Figura 84 Microscopía con acercamiento de 10 um.	164
Figura 85 Microscopía con acercamiento de 5 um.	146
Figura 86 Microscopía con acercamiento de 2 um.	166
Figura 87 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para lamuestra de sílica gel triturada	148
Figura 88 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de..... hormigón con 0% de sílica gel	149
Figura 89 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de..... hormigón con 0.5 % de sílica gel	150
Figura 90 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de..... hormigón con 1% de sílica gel	151
Figura 91 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de..... hormigón con 2% de sílica gel	152
Figura 92 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de..... hormigón con 3% de sílica gel	153
Figura 93 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de..... hormigón con 4% de sílica gel	154
Figura 94 Concentración del elemento Vs Muestras de hormigón.	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Formación de la pasta de cemento.</i>	7
Tabla 2 <i>Secuencia de las reacciones básicas de hidratación del cemento Portland.</i> ..	8
Tabla 3 <i>Clasificación de los agregados según su origen.</i>	11
Tabla 4 <i>Clasificación según su tamaño.</i>	12
Tabla 5 <i>Normas de calidad del agua para usar en hormigón y morteros.</i>	19
Tabla 6 <i>Resumen de normativas aplicadas para los ensayos</i>	35
Tabla 7 <i>Valores Límite para graficar la granulométrica del agregado fino</i>	37
Tabla 8 <i>Valores Límite para graficar la granulométrica del agregado grueso</i>	37
Tabla 9 <i>Caracterización de materiales mediante granulometría</i>	38
Tabla 10 <i>Caracterización de materiales mediante granulometría</i>	39
Tabla 11 <i>Caracterización de materiales mediante granulometría</i>	40
Tabla 12 <i>Caracterización de materiales mediante granulometría</i>	41
Tabla 13 <i>Caracterización de materiales mediante estabilidad granulométrica</i>	42
Tabla 14 <i>Caracterización de materiales mediante granulometría</i>	43
Tabla 15 <i>Registro para el ensayo de Densidad Aparente del agregado Grueso</i>	46
Tabla 16 <i>Registro para el ensayo de Densidad Aparente del agregado Fino</i>	46
Tabla 17 <i>Registro de datos para el ensayo de Absorción del agregado</i>	49
Tabla 18 <i>Registro de datos para el ensayo de Absorción del agregado</i>	49
Tabla 19 <i>Registro de datos para el ensayo de Densidad suelta del agregado Grueso</i>	52
Tabla 20 <i>Registro de datos para el ensayo de Densidad compactada del..... agregado Grueso.</i>	52
Tabla 21 <i>Registro de datos para el ensayo de Densidad suelta del agregado Fino.</i> ..	53
Tabla 22 <i>Registro de datos para el ensayo de Densidad compactada del..... agregado Fino.</i>	53
Tabla 23 <i>Registro de datos para el ensayo de contenido de humedad del agregado..... fino.</i>	56
Tabla 24 <i>Registro de datos para el ensayo de contenido de humedad del agregado..... grueso.</i>	56
Tabla 25 <i>Gradación de las muestras de ensayo.</i>	58

Tabla 26 Registro de datos para el ensayo de contenido de abrasión del agregado..... grueso.	59
Tabla 27 Granulometría del gel de sílice	64
Tabla 28 Datos para el histograma de análisis de tamaño de partícula.....	66
Tabla 29 Tiempos de fraguado del Cemento con y sin adición del sílica gel.....	69
Tabla 30 Condiciones experimentales para el hormigón.	75
Tabla 31 Asentamientos para diferentes tipos de construcciones	76
Tabla 32 Relación agua-cemento dependiendo la resistencia.	77
Tabla 33 Diseño de la dosificación del hormigón	78
Tabla 34 Resumen de resultados obtenidos de los ensayos a los agregados	80
Tabla 35 Diseño de la dosificación del hormigón	81
Tabla 36 Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire ...	82
Tabla 37 Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de larelación agua / cemento.....	83
Tabla 38 Volumen de agregado por unidad de hormigón	84
Tabla 39 Corrección de humedad.	85
Tabla 40 Cantidades requeridas para elaborar cilindros y vigas para el ensayo. ...	85
Tabla 41 Resultados del ensayo de contenido de aire en el hormigón fresco	87
Tabla 42 Registro de temperaturas del hormigón fresco.....	89
Tabla 43 Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 0%.....	91
Tabla 44 Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 0.5%.....	92
Tabla 45 Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 1%.....	93
Tabla 46 Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 2%.....	94
Tabla 47 Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 3%.....	95
Tabla 48 Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 4%.....	96
Tabla 49 Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 0%...	97
Tabla 50 Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 0.5%	98
Tabla 51 Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 1.0%	99
Tabla 52 Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 2.0%	100
Tabla 53 Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 3.0%	101

Tabla 54 <i>Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel.....</i> <i>.....al 4.0%.....</i>	102
Tabla 55 <i>Diferencia porcentual de resistencias</i>	103
Tabla 56 <i>Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 0%</i> <i>de..... sílica gel.....</i>	110
Tabla 57 <i>Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 0%</i> <i>de..... sílica gel.....</i>	112
Tabla 58 <i>Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 1%</i> <i>de..... sílica gel.....</i>	114
Tabla 59 <i>Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 2%</i> <i>de..... sílica gel.....</i>	116
Tabla 60 <i>Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 3%</i> <i>de..... sílica gel.....</i>	118
Tabla 61 <i>Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 4%</i> <i>de..... sílica gel.....</i>	120
Tabla 62 <i>Comparativa entre módulos de elasticidad obtenidos</i> <i>experimentalmente..... Vs la propuesta del A.C.I.....</i>	122
Tabla 63 <i>Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 0%.....</i>	125
Tabla 64 <i>Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 0.5%.....</i>	126
Tabla 65 <i>Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 1%.....</i>	127
Tabla 66 <i>Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 2%.....</i>	128
Tabla 67 <i>Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 3%.....</i>	129
Tabla 68 <i>Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 4%.....</i>	130
Tabla 69 <i>Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 0%.....</i>	131
Tabla 70 <i>Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 0.5%....</i>	132
Tabla 71 <i>Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 1%.....</i>	133
Tabla 72 <i>Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 2%.....</i>	134
Tabla 73 <i>Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 3%.....</i>	135
Tabla 74 <i>Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 4%.....</i>	136
Tabla 75 <i>Diferencia porcentual de módulo de rotura para vigas.....</i>	137
Tabla 76 <i>Simbología para topografías obtenidas mediante el microscopio.....</i> <i>.....electrónico.....</i>	140

<i>Tabla 77 Resumen de concentraciones de elementos más importantes que.....conforma el hormigón.....</i>	155
<i>Tabla 78 Comparación de dosificación y costo.</i>	156
<i>Tabla 79 Costo del hormigón comercial para Ecuador “Hormigonera del Valle”.156</i>	
<i>Tabla 80 Cantidades de dosificación para una resistencia de 300 kg/cm2 sin.....inclusión de sílica gel.....</i>	157
<i>Tabla 81 Cantidades de dosificación para una resistencia de 400 kg/cm2 sin.....inclusión de sílica gel.....</i>	158

RESUMEN

En la presente investigación, muestra la influencia del gel de sílice al ser utilizado como aditivo en la elaboración del hormigón hidráulico, al fin de verificar las características mecánicas como la resistencia a la compresión y flexión. El hormigón hidráulico en estudio fue elaborado, empleando agregado fino proveniente de la mina de “Pintag”, agregado grueso extraído de la Mina de Pifo “Holcim”, cemento Holcim Fuerte y gel de sílice como aditivo, cuyo nombre comercial es “sílica gel”. Se determinaron las propiedades físicas de los agregados, cemento, sílica gel y la resistencia del hormigón en su estado endurecido, con ello se obtuvo la resistencia a la compresión y flexión a edades de 7, 14, 21 y 28 días, empleando probetas cilíndricas y vigas estandarizadas respectivamente para cada ensayo. El método A.C.I. 211 fundamenta la mezcla de hormigón patrón utilizado como base para la elaboración de las diferentes mezclas para concentraciones de aditivo “sílica gel” de 0.5, 1, 2, 3 y 4 %, se parte de una dosificación patrón inicial para una resistencia a la compresión de $f'c = 300 \text{ Kg/cm}^2$. Para el gel de sílice presente mejores resultados, se procedió a triturar hasta un tamaño menor a 150 micras, considerando que es un reductor de humedad que puede favorecer el aumento de la resistencia del hormigón hidráulico mediante la reducción de la relación agua/cemento. En función de los resultados obtenidos, se determina cual fue el porcentaje óptimo del aditivo en estudio, “gel de sílice”, para la elaboración de un hormigón que llegase a la resistencia de diseño establecida. En esta investigación evidencia la influencia del gel de sílice en el hormigón hidráulico, mediante ensayos de difracción con rayos X “EDS” y microscopía electrónica, con la ayuda del microscopio electrónico de barrido TESCAN MIRA 3, con muestras de hormigón a edades de 28 días.

Palabras claves:

- **POLÍMERO**
- **FRAGUADO**
- **COMPRESIÓN (Hormigón)**
- **FLEXIÓN (Hormigón)**
- **MICROSCOPIA**

ABSTRACT

In this research, it shows the influence of silica gel to be utilized as an additive in the production of hydraulic concrete, in order to verify the mechanical characteristics such as resistance to compression and bending. The hydraulic concrete study was prepared using fine aggregate from mine "Pintag" coarse aggregate extracted from the mine Pifo "Holcim" cement Holcim Strong and silica gel as an additive, whose trade name is "silica gel". The physical properties of the aggregates, cement, silica gel and the concrete strength in the hardened state, thus the strength was obtained compressive and flexural ages 7, 14, 21 and 28 days, using cylindrical specimens were determined and standardized beams respectively for each test. The method A.C.I. based concrete mix pattern used as a basis for the development of different mixes additive concentrations "silica gel" of 0.5, 1, 2, 3 and 4%, is part of an initial standard dosage for a compressive strength of $f_c = 300 \text{ Kg / cm}^2$. For the silica gel present better results, we proceeded to crush to less than 150 microns size, considering it is a reducing moisture can promote increased resistance of the hydraulic concrete by reducing the water / cement ratio. Depending on the results obtained, which was determined the optimum percentage of additive study, "silica gel", for the preparation of a concrete was to established resistance design. In this investigation shows the influence of silica gel in hydraulic concrete, by testing X-ray diffraction "EDS" and electron microscopy, using the scanning electron microscope TESCAN MIRA 3 with concrete samples at age 28 days.

Keywords:

- **POLYMER**
- **SETTING**
- **COMPRESSION (Concrete)**
- **FLEXURE (Concrete)**
- **MICROSCOPY**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1. Antecedentes

Los hormigones modificados con geles de sílice han sido estudiados ampliamente a nivel nacional e internacional, dichos estudios servirán como pauta para la presente investigación; estará compuesto de características que mejoran su funcionalidad y trabajabilidad.

Siendo que el funcionamiento gel de sílice, en el proceso de fluidificación es preciso conocer la variación de la relación agua-cemento durante el proceso de mezclado y fraguado del hormigón, en primera instancia se forma la pasta aglutinante como producto de la lubricación de las partículas de cemento y de árido tras la adsorción de agua, para que posteriormente esta pasta se vuelva cementante al iniciarse el fraguado.

En la presente investigación, que involucra el diseño del hormigón modificado con el polímero absorbente, sílica gel o gel de sílice, se espera obtener una mezcla que proporcione ligereza en peso, trabajabilidad, docilidad, consistencia y que demuestre una eficiencia primordial al reducir el agua de mezclado, esperando así, que éstas características gobernadas principalmente por las reacciones electroquímicas producidas entre las moléculas de agua, granos de cemento y partículas de Sílica Gel tiendan a formar una afinidad electrostática al entrar en contacto con el agua durante la operación de amasado obteniendo así un hormigón de calidad que pueda ser empleado en construcciones civiles. (Mejlhede, 2013)

1.2. Estado del arte

En el Ecuador actualmente en la “Universidad de Cuenca” se realizan investigaciones a las cuales se las ha denominada “Estudio experimental del uso de diferentes aditivos como plastificantes reductores de agua en la elaboración de hormigón y su influencia en la propiedad de resistencia a la compresión” (Campoverde Matute & Muñoz Merchan, 2015), con lo cual se llegó a demostrar que para dosificar un hormigón es fundamental que las proporciones de materiales sean las adecuadas, además que para ensayos preliminares a los cuales se someta esta mezcla se garantice que el hormigón posea características de trabajabilidad y resistencia.

Se toma en consideración que las dosificaciones elaboradas conservaron la trabajabilidad de la mezcla para obtener un patrón de resistencia establecido, aun cuando se añadió el polímero absorbente. Existen también otros aportes de índole internacional en “The Faculty of Construction and Environmental Engineering Sciences – Department of Construction Materials University of Stuttgart”, Alemania, en su investigación nombrada “Application of Superabsorbent Polymers (SAP) in concrete Construction” (Mechtcherine & Reinhardt, 2012), en la que se describe la aplicación de polímeros súper absorbentes en la construcción con hormigón, la misma que prioriza la función general de aditivos químicos en la tecnología del hormigón, se describen además las posibles funciones de Súper polímeros absorbentes (SAP) en los materiales a base de cemento y define las principales áreas potenciales de uso de este nuevo aditivo en el ámbito de la construcción.

El uso de súper absorbentes para el hormigón ha tomado una visión de las posibilidades que ofrece la aplicación de estos aditivos inteligentes, que de una manera controlada cambian de manera significativa las propiedades del hormigón en presencia de un estímulo externo, un aporte es la investigación realizada en “The Department of Civil Engineering, Technical University of Denmark, Lyngby, Denmark”, en la investigación titulada “Use of Superabsorbent Polymers in Concrete”. (Mejlhede, 2013)

1.3. Justificación e importancia

En la actualidad, las investigaciones acerca de los polímeros súper absorbentes de agua (SAP), gel de sílice, han tomado una relevante importancia en el medio de la construcción, en vista que desde hace mucho tiempo se ha buscado la forma de inferir adecuadamente las capacidades de estos para mejorar las propiedades de la mezcla en el hormigón, para la inserción de dichos aditivos se espera que modifiquen de manera satisfactoria la manejabilidad de la mezcla para conseguir la excelencia en el hormigón modificado con los aditivos y así cumplir con los requerimientos establecidos, además cabe mencionar que para la elaboración del hormigón modificado con esta clase de polímeros, es importante conocer las características de los materiales que lo conforma, en ciertos casos las reacciones electroquímicas producidas entre las moléculas de agua, granos de cemento y partículas de aditivo, pueden ocasionar fallos en la estructura química de la mezcla la cual debe evitarse, y es ahí en donde se cimienta el objetivo de esta investigación. (Mechtcherine & Reinhardt, 2012)

En el presente estudio, se plantea realizar pruebas en probetas de hormigón con la adición de geles de sílice que tiene la característica de encapsular agua y que se encuentra en el mercado con el nombre de Sílica Gel con indicadores de saturación en coloración azul o naranja; de esta forma se evalúan las mejoras en las características y propiedades mecánicas que puedan aportar dicho polímero. Debido a condiciones de análisis previos en otras investigaciones se espera que la adición de polímeros absorbentes, gel de sílice, a la mezcla permita mejorar la resistencia del hormigón para poder conocer el lugar adecuado de aplicación para este hormigón en el medio de la construcción.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la influencia del gel de sílice, en el diseño de un hormigón hidráulico de resistencia moderada.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar una dosificación para un hormigón que alcance una resistencia moderada de 300 kg/cm² con agregado de Pifo.
- Caracterizar las propiedades de los agregados utilizados en el hormigón.
- Caracterizar las propiedades del gel de sílice.
- Determinar el tamaño adecuado de la partícula de gel de sílice.
- Determinar los tiempos de fraguado del cemento portland al añadir el polímero absorbente, gel de sílice.
- Comparar la dosificación del hormigón simple versus el hormigón hidráulico modificado con gel de sílice en porcentajes de 0%, 0.5%, 1%, 2%, 3% y 4% en relación al peso del cemento.
- Determinar las propiedades físicas y mecánicas del hormigón con y sin gel de sílice.
- Estudiar el comportamiento carga-deformación para la mezcla modificada con el gel de sílice, y sus posibles aplicaciones en el medio de la construcción.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Cemento

2.1.1. Definición

El cemento es un conglomerante formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, a esta molienda se le agrega yeso para que adquiera las propiedades de cemento, para la utilización requiere entrar en contacto con el agua, esta mezcla forma una pasta que se va endureciendo hasta formar una roca artificial. (Romo, 2008).



Figura 1 Cemento Portland Tipo

2.1.2. Química del Cemento

El cemento en su composición química cuenta con materiales como sílice, calcio, hierro y aluminio, los cuales proporcionan propiedades características de este material, se sabe también que durante los procesos de clinkerización se forman nuevos minerales que tiene propiedades hidráulicas; a continuación, se mencionan los componentes fundamentales del cemento portland. (Prato, 2007)

- Oxido de Calcio: CaO Calcio , Cal.
- Oxido de Silicio: SiO₂ Sílica, Silice.
- Oxido de Aluminio: Al₂O₃ Alúmina.
- Oxido de Hierro: Fe₂O₃.

Durante los procesos de molienda y mezcla de las materias primas para la elaboración del cemento se producen un conjunto de reacciones químicas conocidas como reacciones de clinkerización las cuales se mencionan a continuación. (Prato, 2007)

- $2\text{CaO} + \text{SiO}_2 \rightarrow (\text{CaO})_2\text{SiO}_2$ Belita “Silicato Dicalcico”
- $(\text{CaO})_2\text{SiO}_2 + \text{CaO} \rightarrow (\text{CaO})_3\text{SiO}_2$ Alita “Silicato Tricalcico”
- $4\text{CaO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CaO}_4(\text{Al}_2\text{O}_3)(\text{Fe}_2\text{O}_3)$
“Ferroaluminatotetracalcico”
- $3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CaO}_3(\text{Al}_2\text{O}_3)$ “Aluminato Tricalcico”

2.1.3. Hidratación del cemento

El proceso de hidratación juega un papel muy importante durante la reacción que produce el cemento portland al entrar en contacto con el agua formándose una pasta que durante este proceso desarrolla estructuras cristalinas cementantes. (Hernández, 2010)

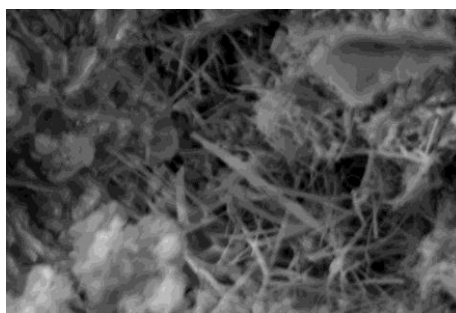


Figura 2 Cristales de cemento hidratado.

2.1.4. Formación de la pasta de cemento

Esta se produce como consecuencia de la reacción química entre el cemento y el agua, teniendo en consideración factores como la humedad, temperatura, etc. Es común que esta reacción química después de cierto tiempo empiece a mostrar señales visibles en la superficie de este conglomerado de agua y cemento, produciéndose cristales que empiezan a crecer de manera lenta hasta formar una sustancia gelatinosa, que tiene la consistencia de un gel, en un inicio se muestra inestable químicamente a consecuencia de poseer un alto nivel de agua, pero al poco tiempo este va perdiendo agua hasta lograr estabilizarse proporcionando así las propiedades mecánicas de una pasta endurecida. En la siguiente tabla se muestra una descripción gráfica del proceso de formación de la pasta de cemento. (Hernández, 2010)

Tabla 1

Formación de la pasta de cemento.

1.- INICIO Dispersión fina del cemento en el agua	
2.- DOS MINUTOS DESPUES Gel inestable	
3.- DOS HORAS DESPUÉS Gel estable	
4.- DOS DÍAS DESPUÉS Desarrollo de las propiedades mecánicas	

Fuente: (Hernández, 2010)

Es importante conocer que los cristales de monosilicato de calcio y aluminatos, ambos posteriores a una hidratación, se presentan en forma alargada, prismática o en forma de agujas; durante el proceso de hidratación estos proceden a entrelazarse generando una estructura que garantiza la resistencia de los morteros y hormigóns. (Hernández, 2010)

Se muestra a continuación los fenómenos recurrentes durante el proceso de hidratación del cemento.

Tabla 2

Secuencia de las reacciones básicas de hidratación del cemento Portland.

Etapas de la Reacción	Procesos Químicos	Procesos Físicos	Influencia de la reacción
Primeros minutos	Rápida disolución inicial de sulfatos y aluminatos de álcali; hidratación inicial.	Alta velocidad de evolución de calor. Pueden influir en el fraguado.	Los cambios en la composición de la fase líquida inicial de C3S; formación de estringita.
De 1 a 4 horas (Periodo de inducción)	Disminución del silicato, pero aumento en la concentración de iones de Ca; se inicia la formación de núcleos de CH y C-S-H.	Formación de los primeros productos de hidratación; baja velocidad de evolución de calor. El sulfato puede influir en el fraguado y la trabajabilidad. La hidratación de los silicatos de calcio termina el fraguado inicial.	La formación de cristales con forma de placa o barra por balance inadecuado de iones de aluminatos y la concentración de Ca alcanza un nivel superior de saturación de Ca.
De 3 a 12 horas (Periodo de aceleración)	Rápida reacción química de los silicatos de Ca para formar C-H-S y CH; disminución de la supersaturación de Ca.	La rápida formación de los hidratos provoca una disminución en la porosidad, alta velocidad de la evolución del calor.	Fraguado inicial; cambio de consistencia plástica a rígida; desarrollo de la resistencia temprana; fraguado final.
Etapas de posaceleración	Formación de CH y C-S-H controlada por difusión; recristalización de etrinnita a monosulfato y polimerización de posibles silicatos.	Disminución de la evolución de calor; continua disminución de la porosidad.	Continuo desarrollo de la resistencia a velocidad decreciente. La porosidad y la morfología del sistema hidratado determina la adherencia entre la pasta y el agregado.

Fuente: (Gutiérrez, 2003)

2.1.5. Determinación de la consistencia Normal – Método de Vicat

La determinación de la consistencia se presenta con la propiedad de medir el grado de fluidez y manejabilidad que muestra la pasta de cemento, para su determinación se emplea el aparato de Vicat, presentado en la figura 2.3. de acuerdo al procedimiento de la norma ASTM C187 y NTE INEN 157 - 2009. (INEN, 2009)

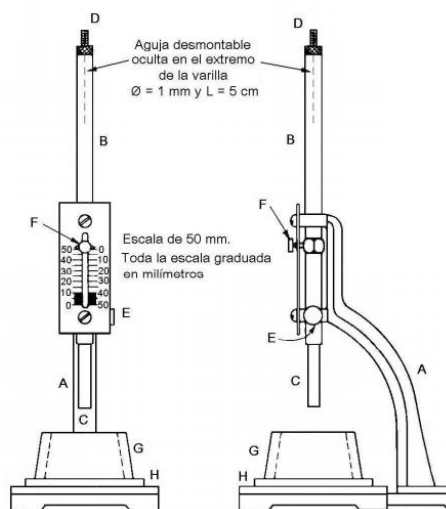


Figura 3 Aparato de Vicat.
Fuente: (INEN, 2009)

Los cementos Portland, varían entre sí por el requerimiento de agua que estos necesiten para formar la pasta de cemento. El agua en el amasado del cemento proporciona la fluidez dependiendo de la cantidad que se añade, razón por la cual esta medida de agua cuenta con requerimientos específicos para alcanzar una consistencia normal. (Hernández, 2010)

2.1.6. Compatibilidad de los aditivos con el Cemento

Los problemas de compatibilidad del cemento con los aditivos comúnmente se presentan en el hormigón fresco, esta se genera al entrar en contacto las adiciones minerales y los aditivos, como resultado se presenta pérdidas de asentamiento, fraguado inmediato, pérdida de aire, y otros factores; la razón de afectaciones que generan los aditivos en el cemento en algunos casos son su mal uso. (Carrasco , 2012)

En este estudio se propone incluir aditivo en varios porcentajes hasta alcanzar resultados coherentes y verificables, por medio de parámetros de resistencia. Hallar el porcentaje adecuado de aditivo es parte de la investigación.

2.2. Áridos o agregados

Estos son materiales granulares, en la mayoría de casos son de origen natural, aunque actualmente se está buscando formas de inferir en compuestos para generar agregados artificiales; la característica de estos es servir como material de relleno en la elaboración de hormigones ya que conforman un 60% a 75% en volumen y un 70% a 85% en peso del hormigón. (Romo, 2008)

Los agregados o áridos poseen varias características que son necesarias para la elaboración de un hormigón, las cuales se muestran a continuación:

- ❖ Proveer una consistencia necesaria al hormigón que pueda resistir la abrasión y variaciones climáticas a las que logre exponerse.
- ❖ Resistir los cambios de volumen ocasionados por procesos de fraguado y endurecimiento del hormigón ayudando a evitar agrietamientos en su estructura.
- ❖ Los áridos o agregados gracias a su resistencia contribuyen con la durabilidad del hormigón. (Rivera, 2013)

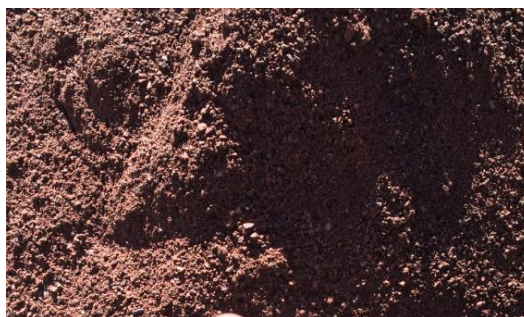


Figura 4 Primer plano de un agregado fino “arena”.



Figura 5 Primer plano del agregado grueso “ripio”.

2.2.1. Clasificación de los agregados

Los agregados para el hormigón se clasifican desde el punto de vista de su origen y tamaño.

2.2.1.1. Clasificación de los agregados según su origen

La procedencia que se tiene de los agregados dependerá si estos son naturales o artificiales, siendo así aquellos que se originan por arrastres fluviales (arenas y gravas de río), o aquellos cuyo origen son por el deshielo de glaciares (cantos rodados) y finalmente los que se originan por la extracción de las canteras como son las diferentes piedras o rocas naturales. (Sánchez de Guzmán, 2001)

Tabla 3

Clasificación de los agregados según su origen.

PORFIRÍTICO	BASÁLTICOS	GÁBRICO
Apilita	Andesita	Diorita básica
Dacita	Basalto	Gneis básico
Felsita	Porfiritas básicas	Gabro
Granófiro	Doleritas	Hornoblenda - roca
Querátofiro	Epidiorita	Norita
Microgranito	Lamprófico	Periodotita
Pórfido	Cuarzo - dolerita	Picrita
Cuarzo - porfirita	Espilita	Serpentina
Reolita		
Traquita		

Fuente: modificada de (Gutiérrez, 2003)

2.2.1.2. Clasificación de los agregados según su tamaño

Para clasificar a un agregado por el tamaño es importante conocer que tienen una variación que va desde fracciones de milímetros hasta varios centímetros en su sección transversal, a esta distribución de agregados se le da el nombre de granulometría, establecida con la normativa INEN 696-2011. (Hernández, 2010)

Tabla 4

Clasificación según su tamaño.

Tamaño de la partícula en (mm)	Denominación Corriente	Clasificación
Pasante del tamiz N°200 inferior a 0.002 mm	Arcilla	Fracción fina o finos
Entre 0.002 - 0.074 mm	Limo	
Pasante del tamiz N°4 y retenido en el tamiz N°200	Arena	Agregado fino
Es decir entre 4.76 mm y 0.074 mm		
Retenido en el tamiz N°4		
Entre 4.76 mm y 19.1 mm (N°4 y 3/4")	Gravilla	Agregado grueso
Entre 19.1 y 50.8 mm (3/4" y 2")	Grava	
Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2" y 6")	Piedra	
Superior a 152.4 mm (6")	Rajón, Piedra bola	

Fuente: (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana, 2011)

2.2.2. Agregado Fino

El agregado o árido fino en estado natural contiene la mayor parte del porcentaje en peso del hormigón, este usualmente varía entre el 60% o más, se encuentra constituido de arena en estado natural, la principal característica en sus partículas o granos es que deben poseer una forma cúbica o esférica más no de forma alargada o plana, el rango establecido va desde 0.0074 mm a 4.76 mm (0.00029 pulgadas hasta 0.1874 pulgadas), la consideración de la granulometría las partículas deben ser mayores a un 45% de pasante de cualquier tamiz normado, el módulo de finura debe estar en el rango de 2.5 a 3.1 y estas deberán quedar retenidas en el tamiz No. 200. (Romo, 2008).



Figura 6 Agregado fino muestreado de la Mina de Píntag.

2.2.3. Agregado Grueso

El agregado o árido grueso para un hormigón se encuentra constituido de grava en estado natural la cual en la mayoría de los casos se puede presentar como grava triturada, piedra triturada o simplemente una mezcla de estas, el tamaño de estos viene comprendido desde los 4.76 mm hasta 51 mm (0.1874 pulgadas a 2 pulgadas) y deberán quedar retenidas en el tamiz No. 4 la característica primordial del agregado grueso es que sus partículas deben poseer una alta resistencia. (Yancha Alvarado, 2013).



Figura 7 Agregado grueso $\frac{3}{4}$ " (Izquierda) y 1" (Derecha), muestreado de la mina de Pifo "Disensa".

2.2.4. Granulometría

Este es uno de los aspectos más importantes para los agregados, esta expresión hace referencia a los diferentes tamaños que existen en las partículas que conforma el volumen de un árido grueso o fino, para esto, se necesita del uso de tamices normalizados que tienen una malla con espaciamiento cuadrado, con la finalidad de distribuir en fracciones de igual tamaño los granos que conforman el árido, esto es un análisis granulométrico, este es método más común para dar una rápida caracterización de los materiales y de esta forma adquirir el necesario. (Gutiérrez, 2003)

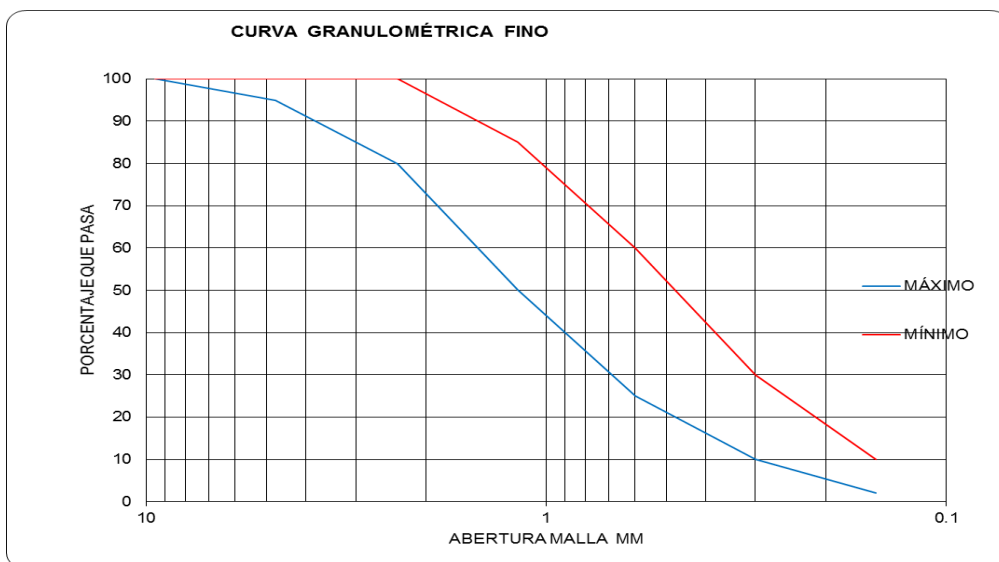


Figura 8 Granulometría del agregado Fino.

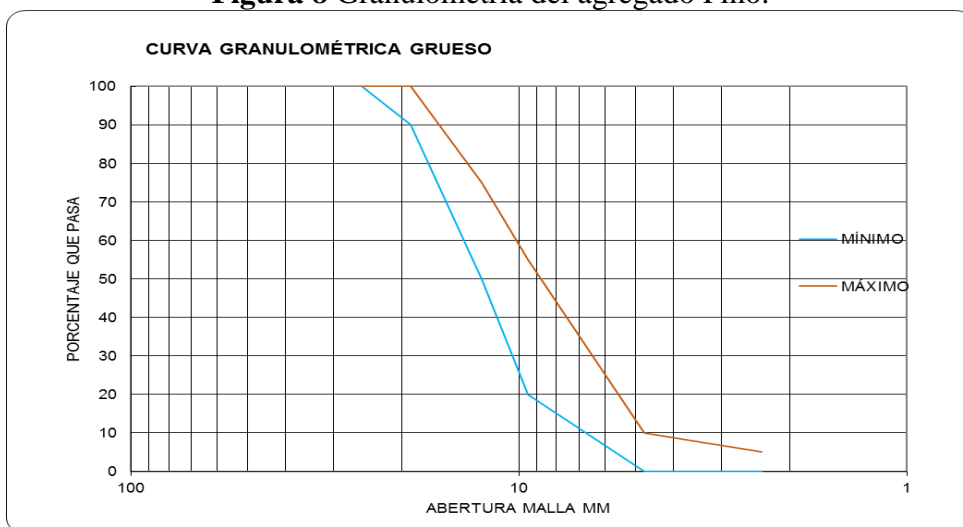


Figura 9 Granulometría del agregado Grueso.

Para el diseño de dosificaciones según el ACI, se requiere determinar las siguientes relaciones gravimétricas de los agregados:

2.2.5. Densidad, gravedad específica y absorción de los áridos.

Las propiedades de densidad, gravedad específica y absorción de los áridos acarrearán afectaciones dentro de las partículas que los conforman, generando vacíos que interfieren en la resistencia a la compresión, absorción y densidad de los agregados. (Romo, 2008)

2.2.5.1. Densidad, gravedad específica y absorción del árido grueso.

Para su determinación se establece el método aplicado en la normativa INEN 857-2010, que establece ensayos a una muestra de árido grueso y proporcionar un valor promedio que represente a esta muestra, algunos de los procedimientos descritos en la normativa anteriormente mencionada son válidos para la determinación de la absorción en los áridos los cuales previamente han pasado por un proceso de saturación durante 24 horas. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana, 2010)

2.2.5.2. Densidad, gravedad específica y absorción del árido fino.

El procedimiento para la determinación se lo establece en la normativa INEN 856-2010, la cual menciona procedimientos de ensayo para áridos finos seleccionando una porción del material que muestre un valor representativo, al igual que el procedimiento descrito en la normativa para áridos gruesos, en este caso también es requerido que el árido fino se encuentre saturado durante 24 horas. (INEN, Norma Técnica Ecuatoriana, 2010)

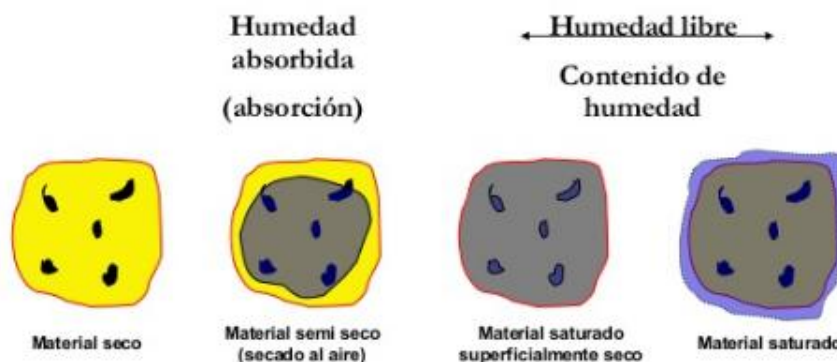


Figura 10 Proceso de saturación de un agregado.
Fuente: (Materiales, 2015)

2.2.6. Densidad suelta.

La calidad y aptitud del agregado depende de la densidad suelta (peso volumétrico o peso unitario), el término se lo toma de la relación existente entre el peso de las partículas y el volumen que ocupan además de tener que incluir los vacíos. Concurren dos tipos de esta, el compactado se caracteriza por los agregados que son varillados y el suelto se debe al material que se encuentra en estado normal de reposo, la respectiva normativa para realizar los ensayos de peso unitario es la INEN 858-2010 (Gutiérrez, 2003)

2.2.7. Porcentaje de vacíos en los agregados.

Se puede definir como la medida del volumen de espacios entre las partículas de una masa de agregado, este parámetro es expresado en porcentaje, y este dependerá del peso volumétrico, al igual que el cálculo del peso unitario la normativa que rige el ensayo de porcentaje de vacíos es la INEN 858-2010.

2.2.8. Humedad superficial de los materiales.

La cantidad de agua que se retiene en las partículas de un agregado se denomina humedad, esta cantidad se obtiene entre el paso de los agregados de estar

húmedos a estar seco, se la expresa en porcentaje; es importante considerar esta humedad ya que se puede ajustar la masa del árido sea fino o grueso según sea el contenido de agua retenida en los mismos para poder fijar el agua de mezclado requerida cuando se elabore un hormigón, la normativa requerida para este ensayo es la INEN 859-2010. (Yancha Alvarado, 2013)

2.2.9. Desgaste de Materiales.

El desgaste de los materiales conlleva el efecto de deterioro por fricción que sufren los agregados. Para determinar el porcentaje de desgaste que sufren estos materiales es necesario regirse a normas de laboratorio en las cuales mediante ensayos trata de simularse este desgaste propio de cada material; a este desgaste por abrasión de los materiales se lo determina mediante el ensayo de abrasión con la máquina de los ángeles la cual determina la resistencia a la abrasión de agregados mediante revoluciones que se da a este material dentro de un tambor metálico por cierto tiempo rigiéndose a la normativa ASTM C131 o INEN 860-2010 la cual involucra agregados gruesos de tamaños mayores a $\frac{3}{4}$ " (19mm).



Figura 11 Ensayo de abrasión con la Máquina de los Ángeles

2.3. Agua

2.3.1. Definición

El agua es el componente del hormigón hidráulico, mediante el cual el cemento experimenta reacciones químicas proveyéndole la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados.

2.3.2. Agua de mezclado

El agua de mezclado tiene dos funciones principales que son: permitir la hidratación del cemento y del aditivo “gel de sílice”, la otra es proporcionar una pasta de cemento lo suficientemente hidratada que provea de trabajabilidad a la mezcla de hormigón y a la vez facilite la manipulación. El agua de mezclado puede extraerse de fuentes naturales, siempre y cuando se considere que no existan elementos orgánicos indeseables o un alto contenido de sales inorgánicas, ya que se debe cumplir con los parámetros de calidad de acuerdo a las normas existentes.



Figura 12 El agua que el hombre usa para beber es ideal para el hormigón.

Las normas que rigen el uso de una adecuada agua para el hormigón hacen referencia a la ASTM C94, AASHTO M 157 y AASHTO T 26, por el hecho de que

estas presentan criterios para la correcta aceptación del agua que será empleada para el hormigón. (Hernández, 2010) (Tabla 2.9 & Tabla 2.10)

Tabla 5

Normas de calidad del agua para usar en hormigón y morteros.

País	Norma	Nombre de la norma
Ecuador	1 855-1:01	Hormigón premezclado; requisitos.
	1 855-2:02	Hormigón preparado en obra; requisitos.

Fuente: modificada de (Hernández, 2010)

2.3.3. Agua de curado

El agua de curado es aquella que se utiliza para evitar la pérdida de la misma por procesos de exudación del hormigón, esta agua constituye un suministro adicional para mejorar la hidratación del cemento, lo cual a su vez impide contracciones que pueden provocar fisuras en el hormigón. (Romo, 2008)



Figura 13 Muestra de hormigón sumergido en agua de curado.

2.4. Aditivos

Se denominan aditivos a aquellos productos que se mezclan en el momento de la fabricación del hormigón o inmediatamente después, en una cantidad no superior al 5% de esta masa, con relación al contenido de cemento, con el objetivo de modificar las propiedades y características de la mezcla en estado fresco y/o endurecido. Los aditivos tienen varias formas de usarse estos se pueden encontrar en estado líquido o sólido, a su vez estos se pueden clasificar en aireantes,

modificadores del tiempo de fraguado, reductores de retracción, reductores de agua y superplastificantes, cabe recalcar que estos dos últimos son los más usados actualmente. (Alonso, Puertas, & Palacios, 2009)



Figura 14 Aditivos líquidos, de izquierda a derecha: “aditivo antideslave, reductor de retracción, reductor de agua, agente espumante, inhibidor de corrosión y incorporador de agua”.
Fuente: (Rivera, 2013)

2.4.1. Aditivos reductores de Agua.

Los aditivos reductores de agua aumentan la trabajabilidad del hormigón a fabricar, a su vez mejora la relación A/C al Este químico disminuye la tensión superficial 5 al 10 por ciento manteniendo el mismo revenimiento. También ayuda a incrementar la resistencia del hormigón en cualquiera de sus edades siendo esta de un 15 a 25 por ciento. Este químico disminuye la tensión superficial de agua lo que hace que atrape aire. Se recomienda tener mucho cuidado con las cantidades ya que puede descontrolarse su fluidez. (González Sandoval, 2004)

2.4.2. Reacción aditivos en el hormigón

Al generar la mezcla de un hormigón con aditivos, estos producen una reaccionan llamada “solución” (mezcla homogénea a nivel molecular o iónico). El control del agrietamiento es también una importante medida defensiva para limitar la exposición interna del hormigón a químicos agresivos. Los aditivos reducen la permeabilidad del hormigón de varias maneras, estas pueden ser:

- Permitir el uso de una menor relación agua/cemento.
- Hacer que el hormigón se consolide más fácilmente.
- Convertir productos solubles de hidratación en unos insolubles.
- Llenar los vacíos dentro de la matriz de la pasta de cemento.
- Reducir la contracción, reduciendo así el potencial de agrietamiento.

El grado en el cual la menor permeabilidad mejora la vida de servicio del hormigón en un ambiente de químicos agresivos depende en gran medida del tipo de químicos y su concentración. (Apache, 1999)

2.4.3. Beneficios de los aditivos en el hormigón

La importancia de los aditivos según la Unidad Concreteras de Química Suiza Industrial (UNIMAQ, 2016), esta dependerá del tipo, marca, cantidad de material cementante, el contenido de agua, la forma, granulometría, proporción de los agregados, el tiempo de mezclado y la temperatura del hormigón.

Añadiendo que, el hormigón con aditivos es más durable, resistente y se agrieta menos que una mezcla que no lo incluya, siendo los principales beneficios de su uso:

- Reducción del coste del hormigón.
- Obtención de ciertas propiedades de manera más efectiva que otras.
- Mantener la calidad del material durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado en circunstancias de clima adversos.
- Asegurar la calidad de la mezcla en condiciones ambientales severas durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado.

2.5. Polímeros súper absorbentes (SAP)

Estos son materiales poliméricos, ya que su función principal es absorber grandes cantidades de líquido de sus alrededores y retenerlo, en algunos casos pueden llegar absorber hasta 5000 veces su propio peso; los SAP pertenecen al grupo

de los llamados “materiales inteligentes”, a su vez la fabricación puede darse en casi cualquier tamaño y forma. (Mejlhede, 2013)

2.5.1. Definición de Polímero (Sílica gel o gel de sílice)

El gel de sílice absorbente se encuentra compuesto del dióxido de silicio que se obtiene sintéticamente a partir del silicato sódico, este se presenta comúnmente en forma granular porosa, lo cual le otorga alrededor de $800 \text{ m}^2/\text{g}$ de superficie específica convirtiéndolo así en un súper adsorbente de agua, una de las bondades que presenta este gel es su reutilización ya que al someterlo a una temperatura de 150°C a razón de 1.5 horas por litro de agua este vuelve a obtener sus propiedades de gel absorbente; la característica física que presenta este compuesto es su color azul por motivo del cloruro de cobalto que contiene en su composición química cuando se encuentra en estado seco y se vuelve transparente al absorber humedad. (Mechtcherine & Reinhardt, 2012)



Figura 15 Sílica Gel o Gel de Sílice azul.

2.5.1.1. Composición química del Sílica gel

Químicamente el gel de la sílice no posee una toxicidad, a su vez no es químicamente reactivo ni tampoco inflamable, presenta un aspecto cristalino, inerte, inodoro y poroso, su fórmula química molecular es $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, el gel de sílice es insoluble en agua ni en otro solvente según sea el caso, sólo reacciona con el ácido fluorhídrico y el álcali. (QUIMINET, 2006)

2.5.1.2. Coloración del sílica gel

El indicador de humedad que posee el gel se encuentra compuesto de cobalto, lo que presenta una toxicidad en caso de ingesta. La coloración que se presenta en el mercado es incolora en algunos casos, o una tinturación naranja o azul cuando posee un indicador de humedad. (QUIMINET, 2006)

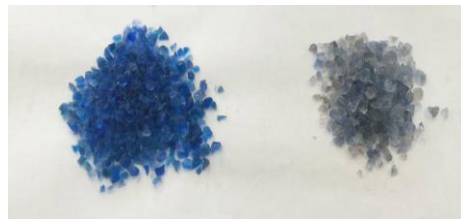


Figura 16 Coloración del Sílica, Azul sin hidratar (Izquierda), transparente con hidratación (Derecha).

2.5.1.3. Reacción del sílica gel con los materiales que componen un hormigón.

Durante la hidratación del cemento, las partículas del gel de sílice tienden a encogerse y dejar huecos llenos de gas, lo que origina que el hormigón sea poroso. Para el uso de agregados livianos en el hormigón es importante la incorporación de agua, es aquí donde la influencia del polímero absorbente sílica gel ha demostrado sus beneficios al proveer de un curado interno. (López, Kahn, & Kurtis, 2005)

2.5.1.4. Sílica gel y su reacción ante el fraguado del cemento.

El gel de sílice tiene una influencia en relación al peso del cemento, en valores de sílica de 0.5 al 2 %, tomando en consideración que el tiempo de fraguado aumenta desde un 36% hasta un 76%, en estado natural el cemento tiende a fraguar en 165 minutos, mientras que al introducir sílica gel a la mezcla este tiempo se reduce a 45 minutos, produciéndose así un rápido fraguado del hormigón. Esta experiencia fue

obtenida del laboratorio mediante el ensayo con la ayuda del aparato de Vicat aplicando la norma INEN 157-2009.



Figura 17 Fraguado del Cemento con la inserción del gel de sílice.

2.6. Hormigón

Es una piedra artificial que da como resultado de la mezcla de cemento, arena, grava y agua, para este y otros casos, también incluyen aditivos dentro de una dosificación adecuada para obtener características fijadas con anterioridad.

2.6.1. Hormigón fresco

Esta mezcla de hormigón se encuentra en estado fresco o plástico cuando lo podemos manipular, transportar, colocar, compactar, todo esto sin afectar su proceso de fraguado y endurecimiento. Esta lo podemos definir como un material heterogéneo, dentro de este existen tres fases: la primera siendo la sólida, áridos y cemento; la segunda como la líquida, agua, y la gaseosa; y la tercera con aire ocluido. (Campoverde Matute & Muñoz Merchan, 2015)

2.6.1.1. Manipulación del hormigón hidráulico.

La manipulación es una propiedad del hormigón antes de endurecerse mediante la cual se determina la capacidad de ser mezclado, manejado, compactado, colocado y transportado, para ser terminado sin perder la característica de homogeneidad, es decir se exude o se segregue. Hay que considerar varios factores que influyen en esto como:

- Contenido de agua de mezclado.
- Granulometría del agregado.
- Relación arena-agregados.
- Contenido de aire de la mezcla.
- Condiciones del clima.
- Aditivos.

2.6.1.2. Relación Agua-Cemento

La relación agua-cemento es un factor individual que se define de mejor forma como la cantidad neta de agua utilizada por la cantidad unitaria del cemento. Dado esto, la relación de la resistencia del hormigón endurecido a una edad determinada es inversamente proporcional a la relación de agua-cemento que posea la mezcla.

El gel de sílice reduce la cantidad de agua por tanto, al iniciar una dosificación con una relación agua-cemento, esta obtendrá una reducción, es decir que su resistencia aumenta de tal forma, que es favorable para el hormigón.

2.6.2. Resistencia del hormigón

Esto se refiere cuando el hormigón tiene una cierta edad después de ser fundido y se lo ensaya, para de esta forma determinar la capacidad de este hormigón, debido a su dosificación y las características que interfieren en este. (Yancha Alvarado, 2013)

2.6.3. Ensayos en hormigones

2.6.3.1. Resistencia a la compresión

Capacidad máxima de carga que soporta la mezcla antes de llegar a su límite de ruptura, se expresa para nuestro país mayormente en kg/cm^2 . Esta se determina cuando el hormigón tiene una cierta edad, es decir ya se encuentra endurecido, ya que con el tiempo esta resistencia a la compresión irá aumentando poco a poco, la normativa a seguirse para determinar la resistencia a la compresión es la descrita en la NTE INEN 1573:2010.

Estas resistencias son medidas por medio de pruebas mecánicas como el ensayo de cilindros, el mismo que es una prueba destructiva, debido a ser ensayados unos cilindros, por lo general, para poder determinar este factor, este proceso se detallará más adelante. (Hernández, 2010)



Figura 18 Ensayo a la compresión de Cilindros de hormigón.

2.6.3.2. Resistencia a la flexión

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del hormigón. Esta mide la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de

hormigón no reforzada, la normativa para el ensayo se encuentra descrita en la NTE INEN 2554:2011



Figura 19 Ensayo a Flexión en vigas de hormigón.

2.6.3.3. Contenido de aire.

El contenido de aire de un hormigón muestra los poros no saturables que dejan los agregados, como consecuencia generan burbujas entre los componentes del hormigón, este aire atrapado se genera a partir del proceso de mezclado o en algunos casos incluido de manera intencional con agentes inclusores de aire (aditivos), la normativa para realizar el ensayo de contenido de aire en el hormigón es la descrita en la ASTM C138, ASTM C231. (Hernández, 2010)

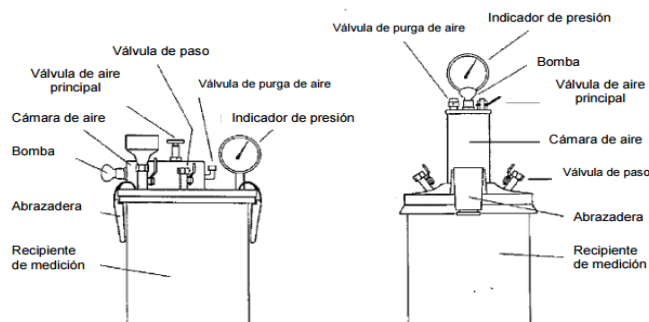


Figura 20 Equipo para ensayo de contenido de aire.
Fuente: (Hernández, 2010)

2.6.4. Curado de hormigones

Se puede identificar como el proceso en el que se controla y se mantiene un contenido de humedad satisfactoria y una temperatura favorable de 23 ± 3 grados centígrados en el hormigón, ya que la reacción química de los materiales mezclados genera mayor temperatura, y debido a esto debe estar humectándose para de esta forma obtener lo deseado, la normativa a seguirse para el curado es la descrita en la NTE INEN 1576:2011.



Figura 21 Curado de un cilindro de hormigón y verificación de la temperatura del agua.

2.6.4.1. Método de curado en inundación o inmersión

Este procedimiento es ideal para mantener al hormigón tan saturado como sea posible, que se produzca la hidratación deseada de los materiales cementantes, en estas condiciones de saturación se producirá la hidratación a velocidad máxima, este es el método más eficiente para mantener la temperatura uniforme durante todo el proceso de curado. Este es el proceso más común que se utiliza en la actualidad para las probetas de hormigón a ser ensayadas, la normativa a seguirse para el curado es la descrita en la NTE INEN 1576:2011. (López, Kahn, & Kurtis, 2005)



Figura 22 Curado de muestras de hormigón en piscina de curado de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

CAPÍTULO III

CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES

En este capítulo se detallará los rangos distintivos de cada uno de los materiales del hormigón como: cemento, agregado grueso, agregado fino, gel de sílice según las normas NTE INEN y ASTM. Para el gel de sílice se describe la metodología del triturado, los tamaños de partícula utilizados en el hormigón.

3.1. Cemento

En la caracterización del cemento a ser utilizado para el ensayo se tomó como materia prima el Tipo 1 de Holcim Fuerte que cumple las características contempladas en la norma NTE INEN 152:2012 de “Cementos de uso General”, aplicables a todo tipo de estructuras de hormigón que no necesiten requerimientos especiales.



Figura 23 Cemento Holcim Fuerte.

3.2. Áridos o agregados

3.2.1. Origen de los materiales

Para la determinación de la Influencia del gel de sílice absorbente en el Hormigón, en esta investigación se procedió a utilizar agregados de dos minas diferentes, el agregado fino fue muestreado de la mina de “Píntag” y para el agregado grueso se muestreo del sector de Pifo, de acuerdo a la granulometría se procedió a esta selección de dos minas diferentes.

Para cada uno de estos materiales se procedió a realizar la determinación de sus propiedades físicas y mecánicas, mediante la aplicación de ensayos normalizados por las normas técnicas ecuatorianas “NTE INEN” y también por las Normas Ecuatorianas de la construcción “NEC”, los mismos que fueron realizados en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.



Figura 24 Panorámica de la Planta de Holcim Pifo (Izquierda) y Panorámica del Mina “el Volcán” Píntag (Derecha).

3.2.2. Ubicación, Características de la zona y explotación de la Mina

Ubicación Mina de Píntag.

Para la selección del agregado fino (arena) se procedió a la toma del material proveniente de la Mina de Píntag, la cual se encuentra localizada en la Avenida General Píntag 100 y Antonio Tandazo en la provincia de Pichincha.



Figura 25 Panorámica de la Mina de Píntag.



Figura 26 Localización geográfica de la Mina de Píntag.

Muestreo de la mina de Pintag.

Para la toma de material, se procedió a recoger con pala de manera al azar el agregado fino procedente de las cribas ubicadas en la mina, seleccionando visualmente que este árido posea partículas redondeadas ya que, esto mejora el comportamiento del hormigón.



Figura 27 Muestreo in situ, del material de Pintag.

Ubicación de la planta de Holcim en Pifo.

Para la selección del agregado grueso (ripió) se procedió a la toma del material en tamaños de $\frac{3}{4}$ " y 1" proveniente de la planta de Holcim "Pifo", ubicada en la carretera E35 en la provincia de pichincha.



Figura 28 Panorámica de la Planta de Holcim Pifo.



Figura 29 Localización geográfica de la Planta de Holcim Pifo.

Muestreo de la mina de Pifo.

Para la toma de material, se procedió a recoger con pala de manera al azar el agregado grueso procedente de la trituración de las rocas madres ubicadas en la mina, este árido debe tener un tamaño de partículas 3/4 y 1 pulgada ya que, esto mejora el comportamiento del hormigón y es lo requerimiento para la granulometría.



Figura 30 Muestreo in situ, del material de Pifo.

3.2.3. Estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados

Para realizar el correspondiente estudio de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, se procedió a realizar los ensayos siguiendo las siguientes normativas mencionadas a continuación:

Tabla 6
Resumen de normativas aplicadas para los ensayos

Ensayo.	Norma.
Granulometría	NTE INEN 0696:2011 ASTM C – 136
Densidad, gravedad específica y absorción del árido.	NTE INEN 0856:2010 y 0857:2010 ASTM C-127 y C-128
Capacidad de absorción	NTE INEN 856:2010 y 0857:2010 ASTM C-70
Densidad aparente suelta y compactada	NTE INEN 0858:2010 ASTM C-29
Contenido de Humedad	NTE INEN 0862:2011 ASTM C-566
Abrasión agregado grueso	NTE INEN 0860:2011 ASTM C-131
Tiempo de fraguado del Cemento	NTE INEN 0157:2009 ASTM C-199

3.2.3.1. Granulometría

La granulometría conlleva el proceso de tamizado del agregado grueso y fino, para poder llegar a determinar la correcta distribución de los tamaños de las partículas que los conforman, este proceso se lleva a cabo mediante el empleo de tamices, el tamizado determina el porcentaje en peso de cada tamaño tomando como referencia el peso total inicial del muestreo. El procedimiento de ensayo para el análisis granulométrico se lo describe en la Norma ASTM C 136 “NTE INEN 0696:2011).

La selección del Tamaño Máximo Nominal “TMN”, se rige en base a las características de la obra, estructura o proyecto, comúnmente cuando no se necesita un requerimiento especial, se procede a la selección del tamaño más grande del agregado, lo cual conlleva disminución en costos del hormigón obteniendo así una mayor estabilidad volumétrica, en nuestro medio la gradación que presentan la mayor parte de canteras es de un tamaño máximo nominal de 3.81 cm o 1 ½”.

Para realizar una caracterización granulométrica de las arenas se procede a determinar su módulo de finura, el cual en su determinación denotará que a un mayor módulo de finura la arena será más gruesa.

El proceso de granulometría lleva intrínseco el ideal de que, al poseer una correcta distribución por tamaños, aquellos huecos dejados por agregados de tamaños más grandes estos sean ocupados por los subsiguientes en menor graduación, llegando así a obtener una compacidad.

Equipo empleado

- Taras metálicas
- Balanza
- Máquina Tamizadora
- Juego de Tamices

Fórmulas usadas

Módulo de finura del agregado Fino

$$MF = \frac{\Sigma \% \text{ en toda la serie}}{100}$$

Porcentaje retenido

$$\% \text{ Retenido} = \frac{W_i}{W_t} * 100$$

Wi: Retenido acumulado

Wt: Peso total de la muestra

Porcentaje que pasa

$$\% \text{ Pasa} = 100\% - \% \text{ Retenido}$$

Tabla

7

Valores Límite para graficar la granulométrica del agregado fino

SERIE FINOS			FAJA FINOS	
Tamiz	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
3/8"	9.5	100	100	100
4	4.75	97	95	100
8	2.36	90	80	100
16	1.18	65	50	85
30	0.60	44	25	60
50	0.30	24	10	30
100	0.15	11	2	10
Pasa N° 200				

Tabla

8

Valores Límite para graficar la granulométrica del agregado grueso

SERIE GRUESO			FAJA 1		FAJA GRUESOS	
3"	76.2	100	100	100	100	100
2	51.8	100	100	100	100	100
1½"	37.50	100	100	100	95	100
1"	25.4	100	100	100	65	85
¾"	19.00	85	90	100	35	70
½"	12.50	59	50	75	20	50
3/8"	9.50	39	20	55	10	30
N° 4	4.75	5	0	10	0	5
N° 8	2.36	3	0	5	0	2
Pasa N° 200						

Para los valores límite representado en la curva granulométrica de agregados gruesos la selección se la realiza dependiendo del tamaño máximo nominal TMN.



ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO FINO
NORMA ASTM C 136 (NTE INEN 0696:2011)

ORIGEN: Mina de Píntag

FECHA: 14 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Tabla 9

Caracterización de materiales mediante granulometría

MUESTRA No. MUESTRA ARENA LAVADA				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
3/8" (9.5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	12	12	3	97
No. 8 (2,36 mm)	30	42	10	90
No. 16(1,18 mm)	100	142	35	65
No. 30(0,6 mm)	85,3	227,3	56	44
No. 50(0,30mm)	77,7	305	76	24
No. 100(0,15 mm)	53,7	358,7	89	11
PasNo 100	45	403,7		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		467,4		
MODULO DE FINURA		2,69		

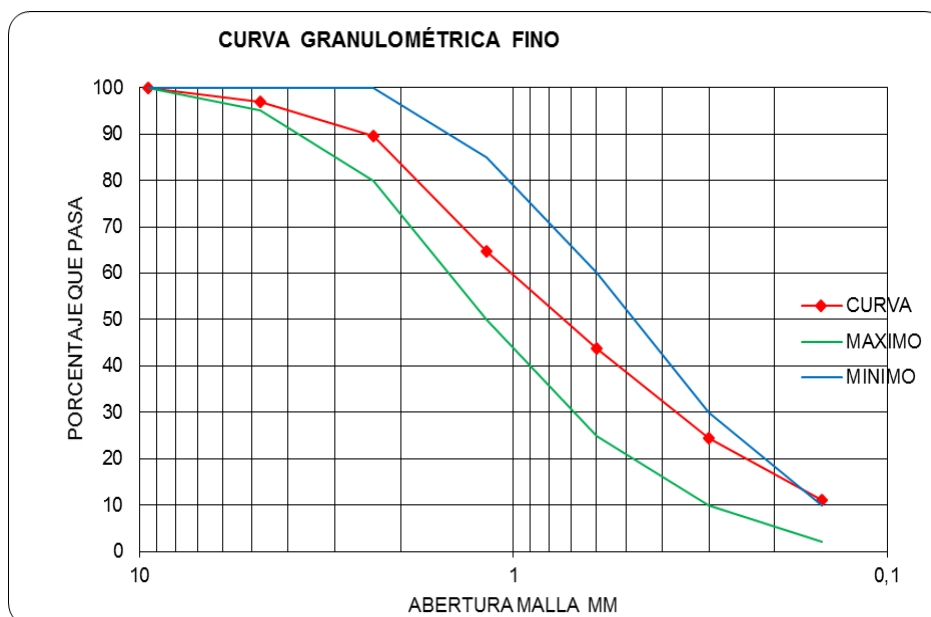


Figura 31 Curva granulométrica agregado Fino “Píntag”



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO FINO

NORMA ASTM C 136 (NTE INEN 0696:2011)

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim

FECHA: 13 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Tabla 10

Caracterización de materiales mediante granulometría

MUESTRA No. MUESTRA ARENA LAVADA				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
3/8" (9,5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	6,2	6,2	1	99
No. 8 (2,36 mm)	126,7	132,9	27	73
No. 16(1,18 mm)	148,9	281,8	57	43
No. 30(0,6 mm)	64,3	346,1	70	30
No. 50(0,30mm)	55,9	402	81	19
No. 100(0,15 mm)	68,3	470,3	95	5
PasNo 100	23	493,3		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		467,4		
MODULO DE FINURA		3,32		

Se desprecia el material de Pifo Holcim por tener el módulo de finura <3.1

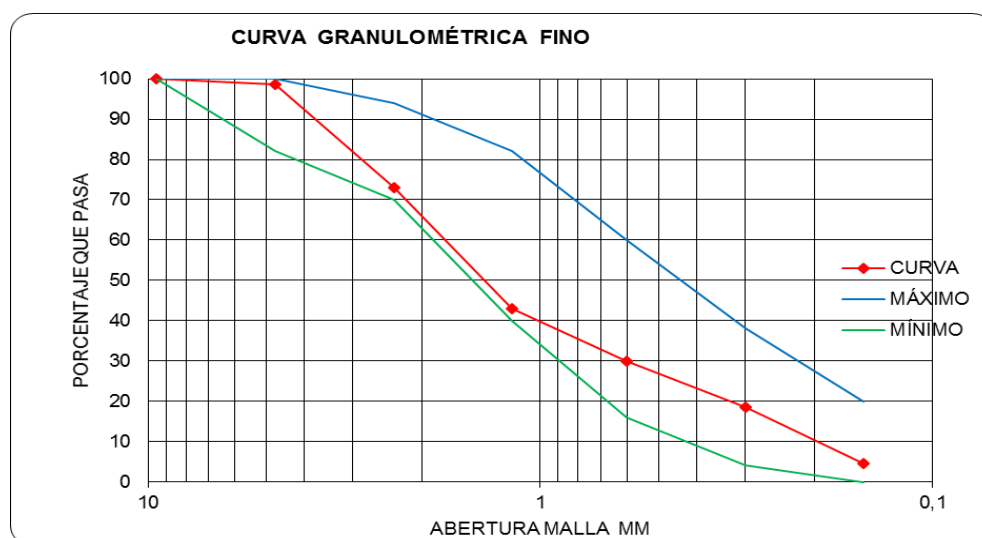


Figura 32 Curva granulométrica agregado Fino “Pifo HOLCIM”.



ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO GRUESO 1”

NORMA ASTM C 136 (NTE INEN 0696:2011)

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim

FECHA: 13 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Tabla 11

Caracterización de materiales mediante granulometría

MUESTRA No. MUESTRA AGREGADO				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA
3" (76,1 mm)	0,00	0,00	0	100
2" (51,8mm)	0,00	0,00	0	100
1 1/2 " (38,1 mm)	0,00	0,00	0	100
1" (25,4mm)	246,80	246,80	2	98
3/4 " (19,0 mm)	3461,10	3707,90	31	69
1/2" (12,5mm)	6668,20	10376,10	86	14
3/8 " (9,51 mm)	936,70	11312,80	94	6
No. 4 (4,76 mm)	557,20	11870,00	99	1
No. 8 (2,36 mm)	81,50	11951,50	100	0
Pas No. 8	45,10	11996,60		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		7879,5		
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		1		

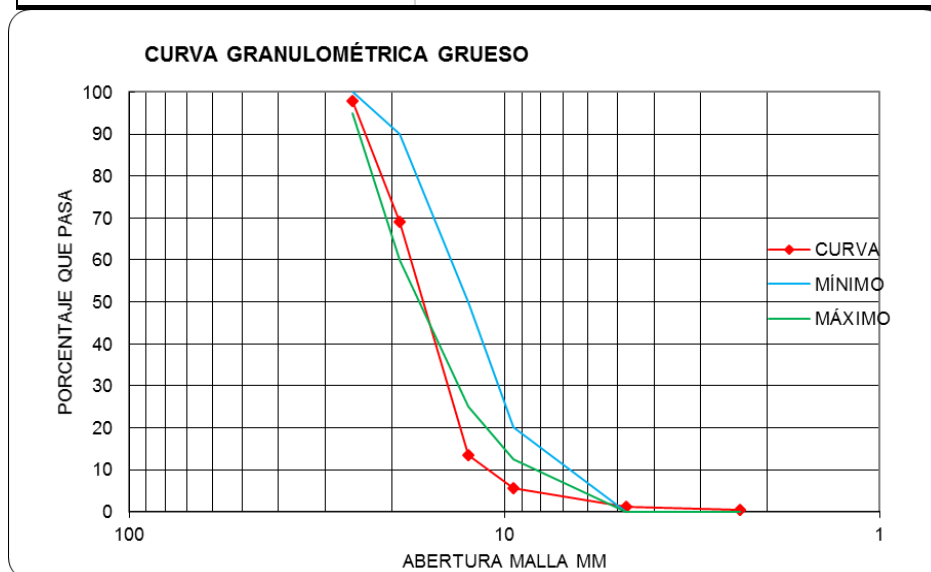


Figura 33 Curva granulométrica agregado 1” (Pifo HOLCIM).



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO GRUESO 3/4"

NORMA ASTM C 136 (NTE INEN 0696:2011)

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim

FECHA: 13 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Tabla 12

Caracterización de materiales mediante granulometría

MUESTRA No. MUESTRA AGREGADO				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA
3" (76,1 mm)	0,00	0,00	0	100
2" (51,8mm)	0,00	0,00	0	100
1 1/2 " (38,1 mm)	0,00	0,00	0	100
1" (25,4mm)	0,00	0,00	0	100
3/4 " (19,0 mm)	66,80	66,80	1	99
1/2" (12,5mm)	1201,20	1268,00	21	79
3/8 " (9,51 mm)	860,60	2128,60	35	65
No. 4 (4,76 mm)	2532,40	4661,00	78	22
No. 8 (2,36 mm)	846,60	5507,60	92	8
Pas No. 8	488,60	5996,20		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		7879,5		
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		1		

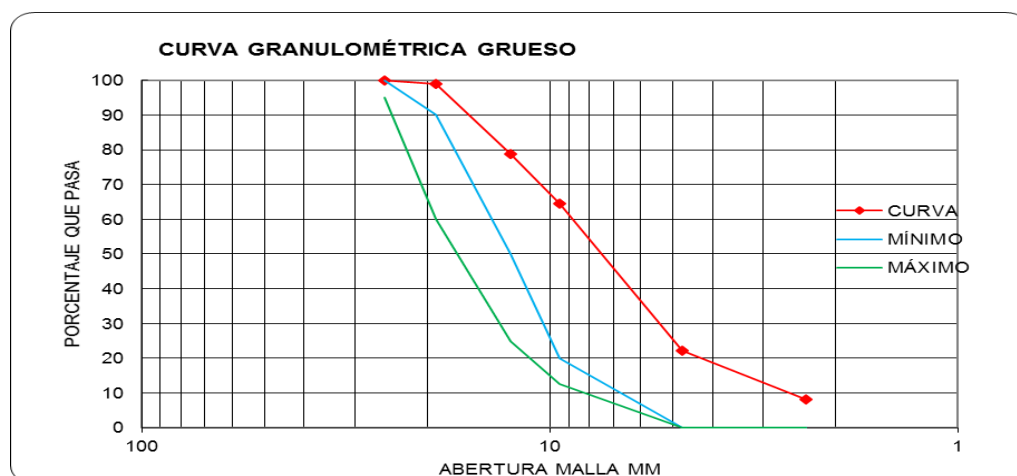


Figura 34 Curva granulométrica agregado 3/4" (Pifo HOLCIM).



ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO GRUESO “ESTABILIDAD GRANULOMÉTRICA”

NORMA ASTM C 136 (NTE INEN 0696:2011)

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim

FECHA: 19 – 08 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Para el requerimiento del Hormigón con gel de Sílice se procedió a realizar una estabilización granulométrica del agregado grueso en porcentajes de 60% y 40% respectivamente.

Tabla 13

Caracterización de materiales mediante estabilidad granulométrica

MUESTRA No. MUESTRA AGREGADO				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA
3" (76,1 mm)	0,00	0,00	0	100
2" (51,8mm)	0,00	0,00	0	100
1 1/2" (38,1 mm)	0,00	0,00	0	100
1" (25,4mm)	14808,00	14808,00	2	98
3/4" (19,0 mm)	210338,00	225146,00	24	76
1/2" (12,5mm)	448140,00	673286,00	72	28
3/8" (9,51 mm)	90626,00	763912,00	81	19
No. 4 (4,76 mm)	134728,00	898640,00	96	4
No. 8 (2,36 mm)	38754,00	937394,00	100	0
Pas No. 8	488,60	937882,60		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		7879,5		
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		1		

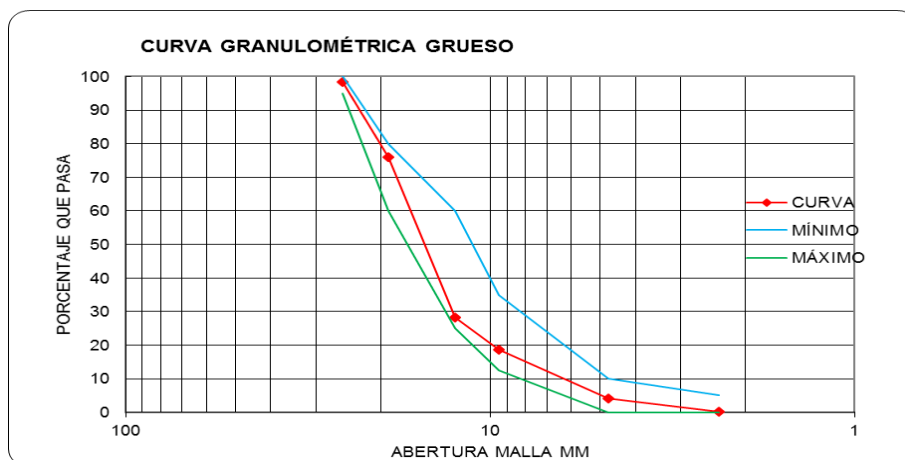


Figura 35 Curva de la estabilidad granulométrica del agregado grueso.



ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN EL ÁRIDO GRUESO DE 1" Y 3/4"

NORMA ASTM C 136 (NTE INEN 0696:2011)

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim

FECHA: 19 – 08 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Tabla 14

Caracterización de materiales mediante granulometría

MUESTRA No. MUESTRA AGREGADO				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA
3" (76,1 mm)	0,00	0,00	0	100
2" (51,8mm)	0,00	0,00	0	100
1 1/2 " (38,1 mm)	0,00	0,00	0	100
1" (25,4mm)	0,00	0,00	0	100
3/4 " (19,0 mm)	1154,60	1154,60	15	85
1/2" (12,5mm)	2109,80	3264,40	41	59
3/8 " (9,51 mm)	1579,80	4844,20	61	39
No. 4 (4,76 mm)	2666,00	7510,20	95	5
No. 8 (2.36 mm)	168,20	7678,40	97	3
Pas No. 8	200,00	7878,40		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		7879,5		
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL		1		

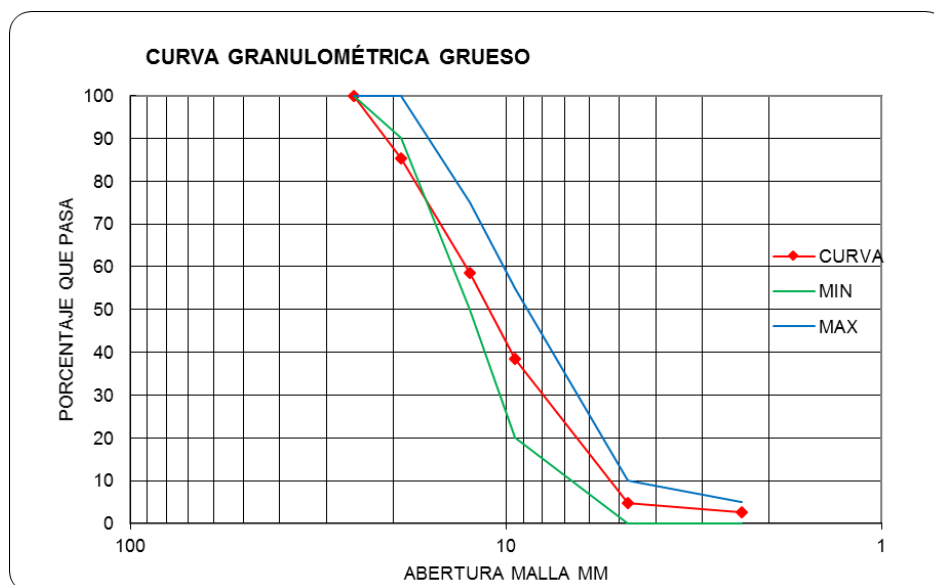


Figura 36 Curva granulométrica del agregado grueso.

Registro Fotográfico del Ensayo



Figura 37 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de granulometría.

3.2.3.2. Densidad aparente y peso específico

Densidad en estado Saturado con superficie Seca (s.s.s.)

Se expresa como la relación entre la masa y el volumen total de los agregados luego de que estos han sido saturados y se encuentren libres de humedad en su superficie; el dato resultante de este ensayo sirve para la determinación de la cantidad de agregado grueso que ingresara en la mezcla de hormigón.

La densidad en estado saturado con superficie seca es el dato más importante para una correcta dosificación de un hormigón ya que la densidad de cada uno de los componentes minerales que conforman un agregado y la porosidad del mismo es el factor de afectación en este valor.

El valor de la densidad siendo el dato más importante en el diseño de un hormigón, este casi siempre tiende a ser un valor alto lo cual implica que el agregado posea una alta resistencia, pero tomando en consideración de que la densidad no es un indicador de la resistencia del agregado.

Para el cálculo del peso específico de un agregado, se debe conocer que este viene expresado en unidades de gramos por centímetro cúbico.

Fórmulas usadas

$$D_{SSS} = \frac{P_1}{P_1 - P_2}$$

P_1 : Masa del Ripio en sss

P_2 : Masa del Ripio saturado en agua

P_3 : Masa del Ripio en estado seco



**ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD
RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS
GRUESO Y FINO**

**NORMA ASTM C 127 Y ASTM C128 (NTE INEN 0856:2010 y
0857:2010)**

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim **FECHA:** 27 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Agregado Grueso

Tabla 15

Registro para el ensayo de Densidad Aparente del agregado Grueso

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	5890.000
B	PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA	(g)	3589.000
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	5727.000
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO	(g/cm ³)	1.000
(C/C-B) * γ	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm ³)	2.679
(A/A-B) * γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm ³)	2.560
(C/A-B) * γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm ³)	2.489
(A-C/C) *100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	2.8

Observaciones: Temperatura del ensayo 20 °C.

Agregado Fino

Tabla 16

Registro para el ensayo de Densidad Aparente del agregado Fino

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	500.00
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	477.77
D	PESO DEL FRASCO LLENO DE AGUA	(g)	655.78
E	PESO DEL FRASCO LLENO CON LA MUESTRA SATURADA	(g/cm ³)	953.04
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO	(g/cm ³)	1.000
(C/C+D-E) * γ	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm ³)	2.647
(A/A+D-E) * γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm ³)	2.466
(C/A+D-E) * γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm ³)	2.357
(A-C/C) *100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	4.7

Observaciones: Temperatura del ensayo 20 °C.

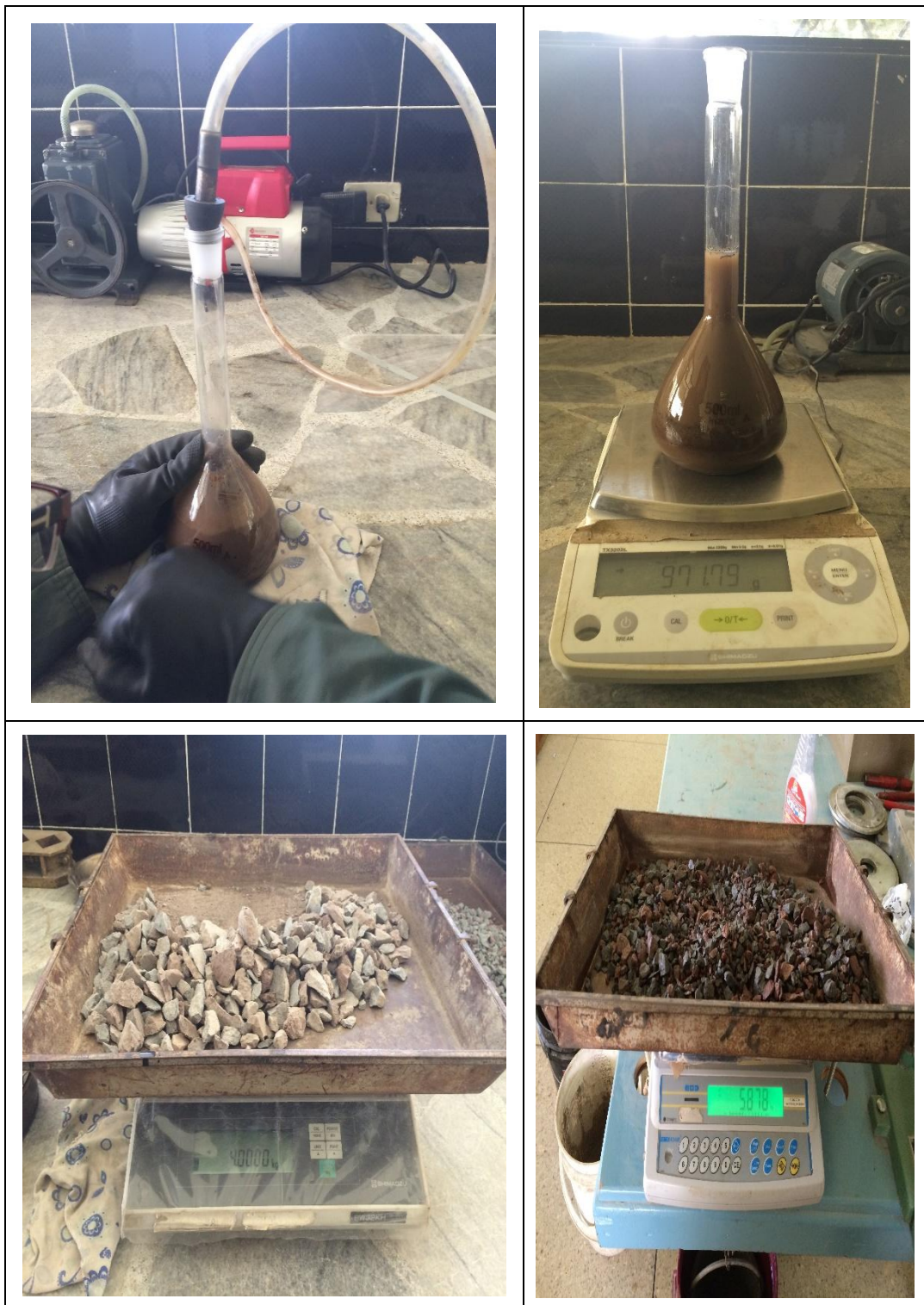
Registro Fotográfico del Ensayo

Figura 38 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de densidad aparente.

3.2.3.3. Porcentaje de absorción

Es el incremento de masa del agregado debido al líquido que penetra y tiende a llenar los poros permeables de un cuerpo sólido poroso. El contenido de humedad para el agregado se estima debido a la masa al ser horneado hasta estar seco, se considera “seco” cuando al agregado se lo mantiene en un horno con una temperatura de 110°C +- 5° C por el tiempo suficiente para remover toda el agua, la humedad libre o superficial excedente es la causante de la condición de saturación con superficie seca. La condición de capacidad de absorción se obtiene tomando el peso del agregado bajo condición saturada y en condición seca.

En la capacidad de absorción se relaciona la diferencia de los pesos a la cual se le expresa como porcentaje del peso seco del material; la determinación de este valor es importante al momento de determinar el agua de amasado del hormigón.

Equipo Empleado

- Taras metálicas
- Horno de secado
- Balanza
- Espátulas

Fórmulas usadas

$$\% \text{ Absorción} = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100$$

P_1 : Peso total de la muestra saturada seca

P_2 : Peso de la muestra seca



ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA (GRAVEDAD ESPECÍFICA) Y ABSORCIÓN DE LOS ÁRIDOS GRUESO Y FINO

NORMA ASTM C 127 Y ASTM C128 (NTE INEN 0856:2010 y 0857:2010)

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag **FECHA:** 27 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Agregado Grueso

Tabla 17

Registro de datos para el ensayo de Absorción del agregado

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	5890.000
B	PESO EN EL AGUA DE LA MUESTRA SATURADA	(g)	3589.000
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	5727.000
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO	(g/cm ³)	1.000
(C/C-B) * γ	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm ³)	2.679
(A/A-B) * γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm ³)	2.560
(C/A-B) * γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm ³)	2.489
(A-C/C) *100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	2.8

Observaciones: Temperatura del ensayo 20 °C.

Agregado Fino

Tabla 18

Registro de datos para el ensayo de Absorción del agregado

A	PESO DE LA MUESTRA SATURADA CON SUPERFICIE SECA	(g)	500.00
C	PESO DE LA MUESTRA SECA	(g)	477.77
D	PESO DEL FRASCO LLENO DE AGUA	(g)	655.78
E	PESO DEL FRASCO LLENO CON LA MUESTRA SATURADA	(g/cm ³)	953.04
γ	PESO ESPECÍFICO DEL AGUA A LA TEMPERATURA QUE SE REALIZÓ EL ENSAYO	(g/cm ³)	1.000
(C/C+D-E) * γ	PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	(g/cm ³)	2.647
(A/A+D-E) * γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	(g/cm ³)	2.466
(C/A+D-E) * γ	PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	(g/cm ³)	2.357
(A-C/C) *100	ABSORCIÓN DE AGUA	(%)	4.7

Observaciones: Temperatura del ensayo 20 °C.

Registro Fotográfico del Ensayo

Figura 39 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de absorción.

3.2.3.4. Densidad Aparente suelta y compactada

El cálculo de la densidad aparente de un material conlleva la relación existente entre la masa de dicho material sobre el volumen que llega a ocupar, esto incluye todos los poros que poseen la característica de impermeabilidad, se excluyen los capilares y aquellos poros que son permeables.

Para llegar a determinar la densidad aparente suelta y compactada se debe seguir el procedimiento descrito en la Norma ASTM C-29.

Equipo Empleado

- Bandejas metálicas
- Balanza
- Vertedor de material
- Parihuela para agregado grueso
- Parihuela para agregado fino
- Varilla de punta redondeada

Fórmulas usadas

$$\delta_{Ap.suelta} = \frac{M_{A.Suelto}}{V_R}$$

$$\delta_{Ap.compactada} = \frac{M_{A.Compactado}}{V_R}$$

$M_{A.Suelto}$: Masa del agregado Suelto

$M_{A.Compactado}$: Masa del agregado Compactado

V_R : Volumen del recipiente.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE DETERMINACIÓN DE LA MASA UNITARIA (PESO VOLUMÉTRICO Y PORCENTAJE DE VACIOS)

NORMA ASTM C 29 (NTE INEN 0858:2010)

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim

FECHA: 27 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Densidad suelta del agregado Grueso

Tabla 19

Registro de datos para el ensayo de Densidad suelta del agregado Grueso.

Molde No.	1	1
Peso del molde (g)	8740	8740
Peso molde +suelo (g)	26820	26620
Peso suelo (g)	18080	17880
Volumen (cm³)	14421	14421
Densidad suelta (g/cm³)	1.254	1.240
Media (g/cm³)	1.247	

Densidad compactada del agregado Grueso

Tabla 20

Registro de datos para el ensayo de Densidad compactada del agregado Grueso.

Molde No.	1	1
Peso del molde (g)	8740	8740
Peso molde +suelo (g)	29130	28940
Peso suelo (g)	20390	20200
Volumen (cm³)	14421	14421
Densidad suelta (g/cm³)	1.414	1.401
Media (g/cm³)	1.407	



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA DEL AGREGADO FINO

NORMA ASTM C 29 (NTE INEN 0858:2010)

ORIGEN: Mina de Píntag

FECHA: 27 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Densidad suelta del agregado Fino

Tabla 21

Registro de datos para el ensayo de Densidad suelta del agregado Fino.

Molde No.	2	2
Peso del molde (g)	2599.3	2599.3
Peso molde +suelo (g)	6684.0	6727.7
Peso suelo (g)	4084.7	4128.4
Volumen (cm³)	2813	2813
Densidad suelta (g/cm³)	1.452	1.468
Media (g/cm³)	1.460	

Densidad compactada del agregado Fino

Tabla 22

Registro de datos para el ensayo de Densidad compactada del agregado Fino.

Molde No.	2	2
Peso del molde (g)	2599	2599
Peso molde +suelo (g)	7183	7285
Peso suelo (g)	4584	4686
Volumen (cm³)	2813	2813
Densidad suelta (g/cm³)	1.630	1.666
Media (g/cm³)	1.648	

Registro Fotográfico del Ensayo



Figura 40 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de densidad suelta y compactada.

3.2.3.5. Contenido de Humedad

El cálculo del contenido de humedad del agregado fino o grueso consiste en determinar la cantidad de agua que este posee, para realizar el ensayo se debe contar con una porción representativa de la muestra la cual ingresa a un proceso de secado al horno para posteriormente realizar una medición en peso de cuánta agua poseía en estado natural versus el resultante de ser secado el material; este valor de humedad generalmente se lo expresa en porcentaje el cual se relaciona con la masa total de la muestra representativa de los agregados.

El resultante de este ensayo sirve para realizar las debidas correcciones en las mezclas de hormigón, una recomendación importante es realizar el ensayo de contenido de humedad minutos antes de comenzar a elaborar las probetas de hormigón.

El procedimiento que se utiliza para realizar el ensayo es el descrito en la Norma ASTM C566 (NTE INEN 0862:2011).

Equipo Empleado

- Bandejas metálicas
- Balanza
- Vertedor de material
- Taras metálicas
- Horno de secado

Fórmulas usadas

$$P = \frac{W - D}{D} * 100$$

P: Total del contenido de humedad evaporable → %

W: Masa original de la muestra → gr

D: Masa posterior al secado de la muestra → gr



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO Y GRUESO

NORMA ASTM C 566 (NTE INEN 0862:2011)

ORIGEN: Mina de Píntag y Holcim Pifo **FECHA:** 27 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Contenido de humedad del agregado Fino

Tabla 23

Registro de datos para el ensayo de contenido de humedad del agregado fino.

MUESTRA	FINO	
	41A	32A
RECIPIENTE		
PESO DEL RECIPIENTE (g)	120.92	120.91
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (g)	247.36	244.01
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA (g)	234.07	231.02
PESO DEL AGUA (g)	13.29	12.99
PESO SECO (g)	113.15	110.11
% AGUA	11.75	11.80
% AGUA PROMEDIO	11.77	

Contenido de humedad del agregado Grueso

Tabla 24

Registro de datos para el ensayo de contenido de humedad del agregado grueso.

MUESTRA	GRUESOS	
	72	69
RECIPIENTE		
PESO DEL RECIPIENTE (g)	0	0
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA HÚMEDA (g)	4000	3000
PESO DEL RECIPIENTE + MUESTRA SECA (g)	3954.2	2926.3
PESO DEL AGUA (g)	45.80	73.70
PESO SECO (g)	3954.20	2926.30
% AGUA	1.16	2.52
% AGUA PROMEDIO	1.84	

Registro Fotográfico del Ensayo



Figura 41 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de contenido de humedad.

3.2.3.6. Abrasión agregado Grueso

El ensayo de abrasión consiste en la determinación el porcentaje de desgaste que tiene el agregado grueso, cuando este se someta a condiciones de continuo roce desgaste por la fricción ocasionada por esferas de acero. Este ensayo nos brinda una idea clara de la calidad del material a emplearse en la mezcla de hormigón, siendo este el determinante de la durabilidad y resistencia del hormigón a elaborarse.

El procedimiento que se utiliza para realizar el ensayo es el descrito en la Norma ASTM C-131 (NTE INEN 0861:2011).

Tabla 25

Gradación de las muestras de ensayo.

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)		
Pasante de	Retenido en	Gradación		
		1	2	3
75	63	2 500 ± 50	---	---
63	50	2 500 ± 50	---	---
50	37,5	5 000 ± 50	5 000 ± 50	---
37,5	25,0	---	5 000 ± 25	5 000 ± 25
25,0	19,0	---	---	5 000 ± 25
	Total	10 000 ± 100	10 000 ± 75	10 000 ± 50

Fuente: (Hernández, 2010)

Equipo Empleado

- Bandejas metálicas
- Balanza
- Vertedor de material
- Máquina de los Ángeles

Fórmulas usadas

$$\%_{\text{RETENIDO}} = \frac{W \text{ agregado grueso en 500 rev}}{5000} * 100$$

$$\%_{PERDIDO} = 100\% - \%_{RETENIDO}$$



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO DE

1" Y 3/4"

NORMA ASTM C 131 (NTE INEN 0862:2011)

ORIGEN: Holcim Pifo

FECHA: 27 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Tabla 26

Registro de datos para el ensayo de contenido de abrasión del agregado grueso.

	Árido grueso 1	Unidad	Árido grueso 3/4	Unidad
Peso de la muestra	4999.1	gr	5001.6	gr
Peso de la Muestra salida de la Máquina	3919.1	gr	3953.7	gr
Peso de la Muestra lavada	3917.2	gr	3948.3	gr
Porcentaje de desgaste	27.61	%	21.05	%

Registro Fotográfico del Ensayo



Figura 42 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de abrasión del agregado grueso.

3.2.3.7. Tamaño del Sílica gel empleado, para la elaboración del hormigón.

La comercialización del gel de sílice en el mercado viene graduado en diferentes tamaños, en esta investigación se realiza el proceso de molienda de este material hasta llegar a un pasante del tamiz número 100 (150 micrómetros), la decisión de triturar este gel conlleva experiencias previas, (Mejlhede, 2013), en la investigación de “materiales finamente divididos” en donde se concluyó que a menores tamaños de graduación de los materiales estos aumentaban el área de superficie, razón por la cual se incrementa la velocidad de reacción, ya que al estar un sólido de masa grande las moléculas internas de esta no tiene la posibilidad de interactuar con la otras partículas para reaccionar. (Francesca, 2016)



Figura 43 Gel de sílice en tamaño de 4.0 a 2.38 mm (Izquierda), Gel de sílice triturado a tamaño de 0.150 mm (Derecha).

Registro Fotográfico de molienda.**Figura 44** Registro fotográfico del procedimiento de molienda para el gel de sílice.

3.2.3.8. Ensayos al Gel de Sílice

Granulometría del gel de Sílice

Se procedió a realizar la granulometría del gel de sílice mediante tamizado, para registrar el tamaño de la partícula, donde se obtuvo los resultados mostrados a continuación.

Tabla 27
Granulometría del gel de sílice

MUESTRA No.1 DE GEL DE SÍLICE				
TAMICES	PESO RETENIDO (g)	RETENIDO ACUMULADO	% RETENIDO ACUMULADO	% ACUMULADO PASA TOTAL
3/8" (9,5mm)	0	0	0	100
No. 4 (4,76 mm)	26.5	26.5	9	91
No. 10 (2,00 mm)	272.2	298.7	99	1
No. 40 (0,425 mm)	2.1	300.8	100	0
No. 100 (0,150 mm)	0	300.8	100	0
No. 200 (0,075mm)	0	300.8	100	0
		300.8	100	0
PasNo 200	0	300.8		
PESO INICIAL DE LA MUESTRA: (g)		300.8		

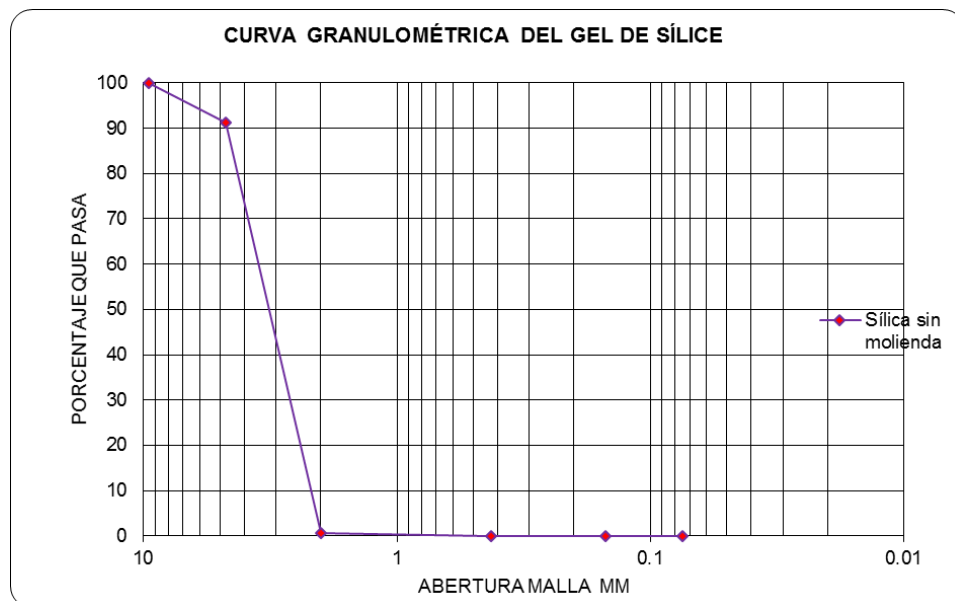


Figura 45 Curva granulométrica del gel de sílice

Análisis del gel de sílice triturado

Para utilizar el gel de sílice absorbente o sílica gel en el hormigón se procedió a realizar una microscopia electrónica la cual determino el tamaño real de la partícula, a continuación, se muestran los resultados obtenidos.

Micro fotografías del Sílica Gel

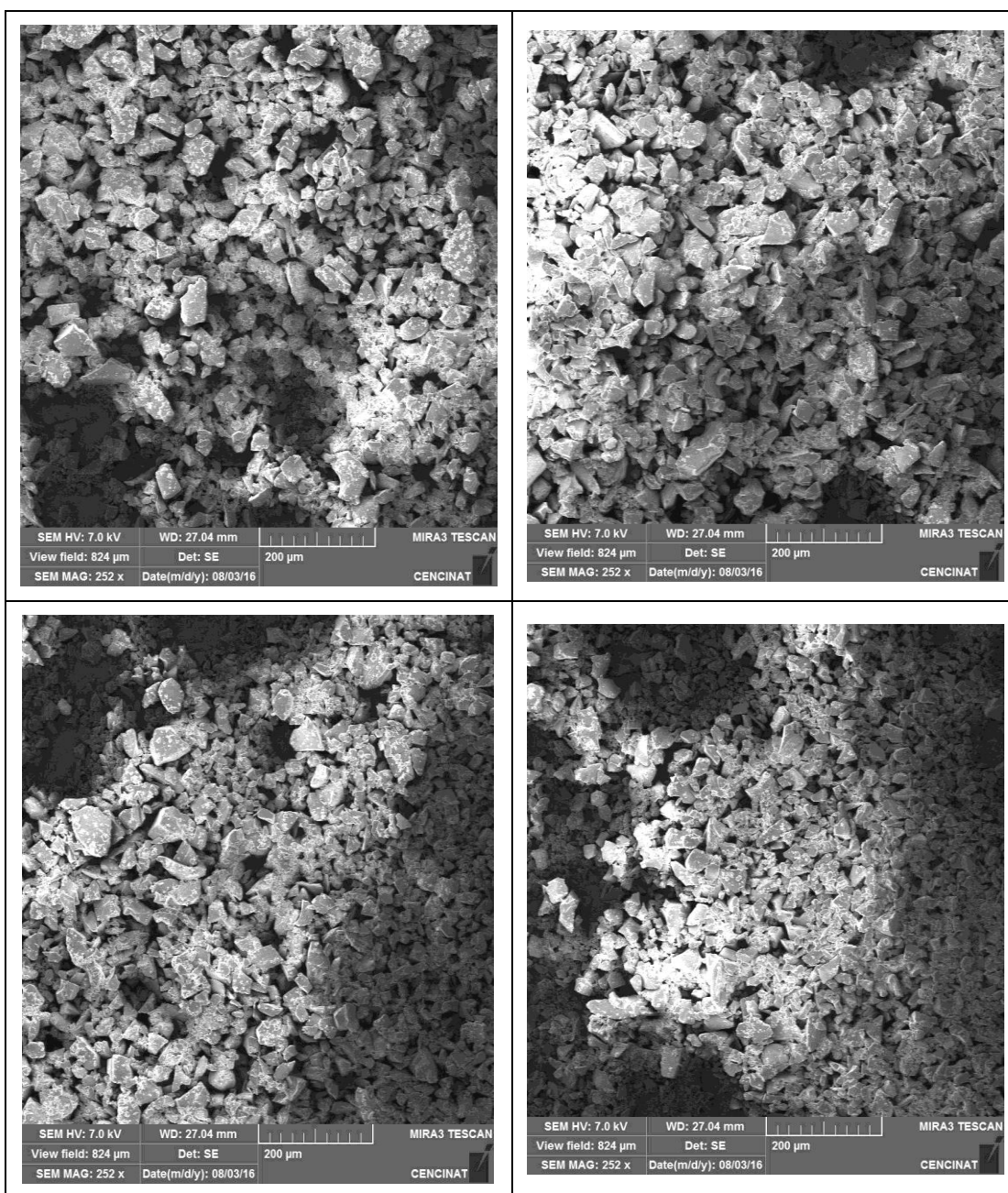


Figura 46 Registro de microfotografías obtenidas con el microscopio electrónico de barrido TESCAN.

Para el ensayo se utilizó 100 mg de la muestra los cuales fueron disueltos en 2 ml de alcohol anhidro al 99%, para dispersar la mezcla se la sometió a ultrasonido durante 10 minutos. Se tomó 200 μ L de la muestra de sílica disuelta y se la depositó en el porta muestra del microscopio, se secó en la estufa a 30°C y se evaporó con oro al 99.9% durante un minuto para obtener un espesor aproximado de 20 nm. Bajo estas condiciones la muestra se ingresó en el carrusel del microscopio electrónico de barrido TESCAN MIRA 3 para su observación.

Análisis estadístico del tamaño de las partículas

Tabla 28

Datos para el histograma de análisis de tamaño de partícula

<i>Clase</i>	<i>Frecuencia</i>	<i>% acumulado</i>
20.60	1	0.49%
27.60	11	5.91%
34.59	40	25.62%
41.59	42	46.31%
48.58	27	59.61%
55.58	22	70.44%
62.57	27	83.74%
69.57	14	90.64%
76.57	5	93.10%
83.56	5	95.57%
90.56	4	97.54%
97.55	1	98.03%
104.55	2	99.01%
111.54	1	99.51%
y mayor...	1	100.00%

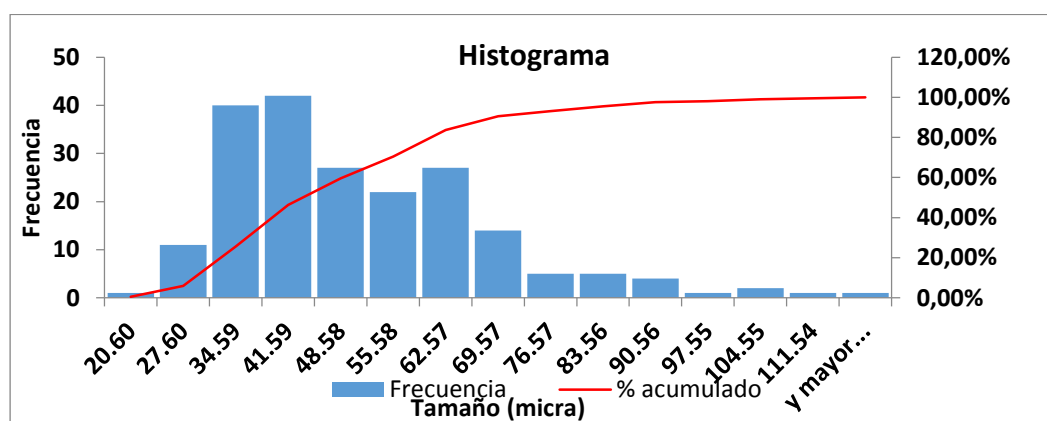


Figura 47 Tamaño de partícula de Sílica Gel.

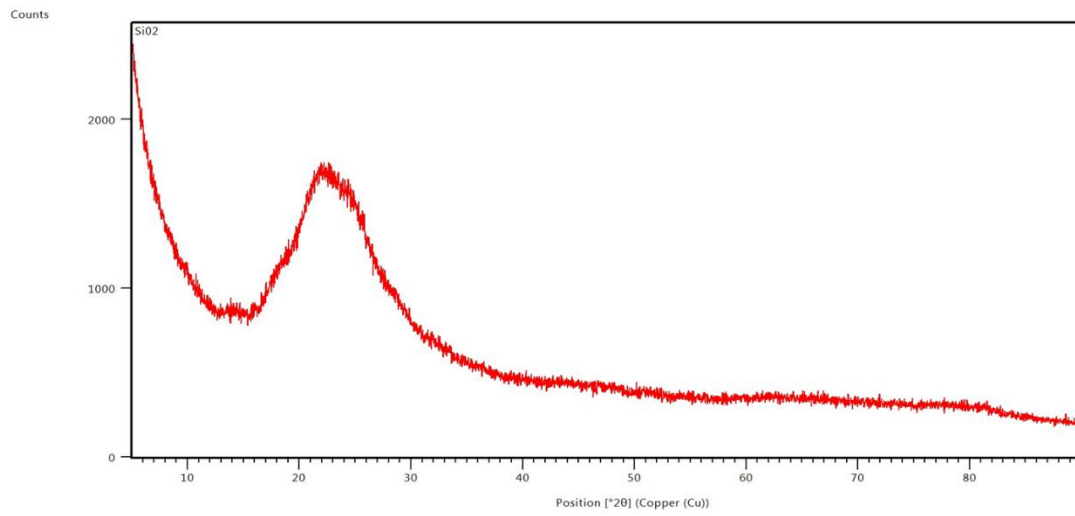


Figura 48 Microscopio electrónico de barrido TESCAN muestra una estructura amorfa del Sílica Gel.

3.2.3.9. Tiempo de fraguado del cemento

Los tiempos de fraguado del cemento describen la rigidez de la pasta, mostrando el cambio de estado fresco ha endurecido, durante este proceso es importante diferenciar el endurecimiento del fraguado, pues el endurecimiento llega a generarse cuando el cemento ya ha fraguado.

Durante el proceso de fraguado “inicial” es importante tomar en consideración el tiempo que transcurre desde el instante en el que el cemento entra en contacto con el agua formándose la pasta, hasta llegar al punto de perder fluidez tomando una consistencia viscosa, elevándose así la temperatura lo cual es el indicador que el cemento se encuentra parcialmente hidratado; el fraguado “final” en cambio describe el tiempo que transcurrió hasta llegar al punto de volver la pasta de cemento indeformable con cargas pequeñas, lo cual es el indicador de que le cemento alcanzo su máxima temperatura por consecuencia de una máxima hidratación. Los factores que afectan mayormente los tiempos de fraguado de un cemento son los siguientes:

- **Finura del cemento:** factor preponderante en la velocidad de hidratación ya que, si el cemento es más fino, este tiende a hidratarse más rápido disminuyendo el tiempo de fraguado.
- **Composición química del cemento:** aquellos cementos que en su composición contengan poco yeso, así como C_3A y C_2S tienden a fraguar más rápido.
- **Temperatura del ambiente:** cuando se tiene una temperatura elevada esta conlleva que los tiempos de fraguado sean menores.
- **Agua de amasado:** una cantidad elevada de agua genera un rápido fraguado.

Conocer los tiempos de fraguado genera una correcta estimación en el tiempo de transporte, vibrado y colocación del hormigón en obra, para la determinación de estos tiempos de fraguado se procedió a seguir los ensayos establecidos en la Norma NTE INEN 158:2009 “Cemento hidráulico. Determinación del tiempo de fraguado, método de Vicat”.

Materiales:

- Cemento Holcim Fuerte Tipo 1
- Gel de sílice o sílica gel pasante del tamiz #100
- Agua

Equipo:

- Aparato de Vicat
- Cronómetro
- Mezcladora
- Termómetro

Tablas de registro de tiempos de fraguado:**Tabla 29**

Tiempos de fraguado del Cemento con y sin adición del sílica gel.

TIEMPO(min)	PENETRACIÓN (mm)					
	SIN ADITIVO	Sílica 0,5%	Sílica 1%	Sílica 2%	Sílica 3%	Sílica 4%
30	40	40	42	33	Fraguado < 30 min	Fraguado < 30 min
45	39	40	36	27		
60	37	40	32	19		
75	34	36	22	3		
90	36	31	18	2		
105	40	26	13	1		
120	41	21	15	1		
135	39	2	2	0		
150	27	3	1			
165	24	1.5	1			
180	20	1	1			
195	15	0	0			
210	5					
225	3					
240	1					
255	1					
270	0					
285						
300						
315						
330						
345						
360						
FINALIZO	5.26	5.05	5.04	4.09		

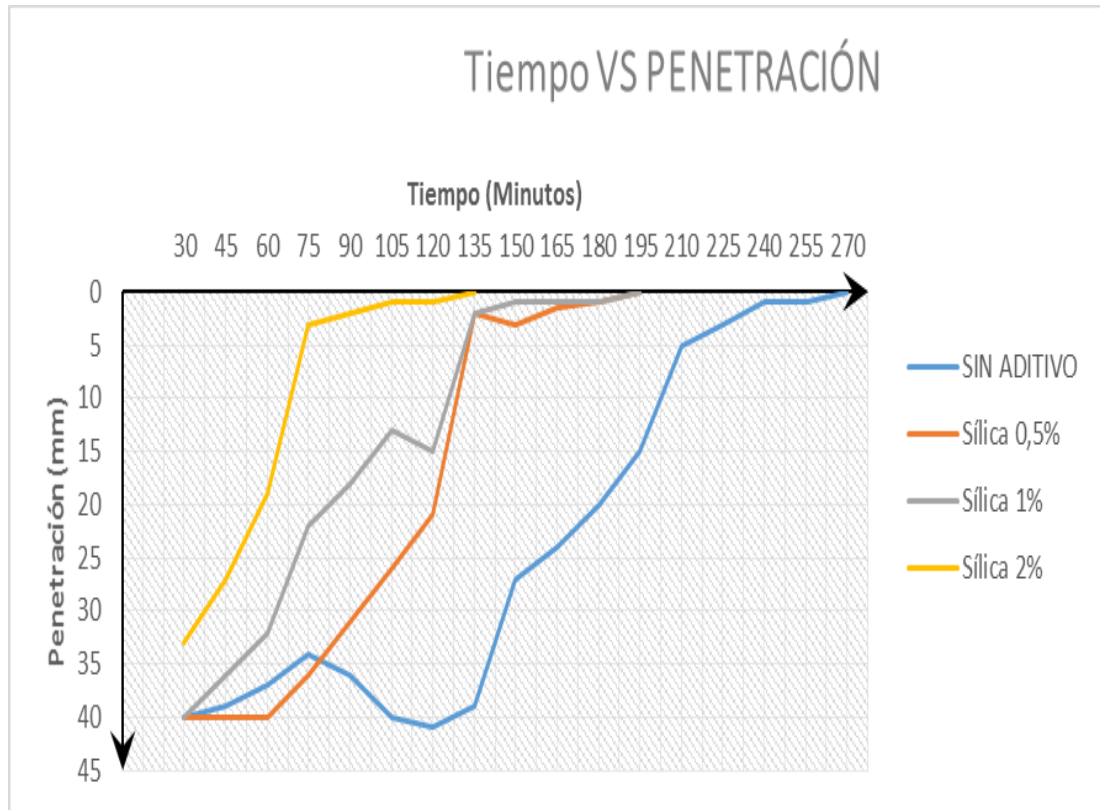


Figura 49 Gráfica de tiempo de fraguado versus penetración.

Registro Fotográfico del Ensayo



Figura 50 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de tiempos de fraguado del cemento.

3.2.4. Resumen de propiedades

- **Ensayo de Granulometría**

Agregado grueso (ripio)

La curva de granulometría del agregado grueso se encuentra dentro de los límites aceptables al realizar una estabilidad granulométrica cuando se emplea un 40% del agregado de 1" y 60% del agregado de ¾"

Agregado Fino (arena Pifo HOLCIM)

La curva de granulometría del agregado fino de Pifo HOLCIM se encuentra fuera de los límites aceptables

Módulo de Finura 3.32 cuando el aceptable debe ser menor a 3.1 motivo por el cual se procede a descartar.

Agregado Fino (arena Píntag)

La curva de granulometría del agregado fino de Píntag se encuentra dentro de los límites aceptables

Módulo de Finura 2.69

- **Densidad aparente y peso específico**

Agregado grueso (ripio)	2.489 g/cm ³
-------------------------	-------------------------

Agregado fino (arena)	2.357 g/cm ³
-----------------------	-------------------------

- **Capacidad de absorción**

Agregado grueso (ripio)	2.8 %
-------------------------	-------

Agregado fino (arena)	4.7 %
-----------------------	-------

- **Densidad aparente suelta y compactada**

- Agregado grueso (ripio)

- Densidad Aparente Suelta 1.247 g/cm³

- Densidad Aparente Compactada 1.407 g/cm³

- Agregado fino (arena)

- Densidad Aparente Suelta 1.460 g/cm³

- Densidad Aparente Compactada 1.648 g/cm³

- **Contenido de humedad**

- Agregado grueso (ripio) 1.84 %

- Agregado fino (arena) 11.77 %

- **Abrasión agregado Grueso ¾”**

- Porcentaje de pérdida después de 500 revoluciones 21.05 %

- **Abrasión agregado Grueso 1”**

- Porcentaje de pérdida después de 500 revoluciones 27.61 %

CAPÍTULO IV

DISEÑO DE LA MEZCLA DE HORMIGÓN

El procedimiento para el diseño de mezclas de hormigón consiste en una sucesión de pasos los cuales se mencionan a continuación:

- Proceso de selección de materiales para el diseño (Agregados, cemento agua y aditivo “Sílica Gel”)
- La determinación de las cantidades adecuadas para realizar el diseño de la mezcla, conlleva propiedades físicas como trabajabilidad, durabilidad y resistencia a la compresión requerida.

La correcta selección de materiales proporciona una particularidad al hormigón que se elabora, ya que cada criterio es diferente dependiendo de la aplicación; tal es el caso de que estos hormigones puedan ser empleados dependiendo su asentamiento, resistencia o capacidad de soportar ambientes químicos adversos para el hormigón.

En nuestro medio principalmente existe un alto nivel de pluviosidad (oriente ecuatoriano), donde se trabaja con porcentajes de humedad muy elevados lo cual, en la construcción genera inconvenientes en la cantidad de cemento utilizado para la dosificación; también es común la falta de control de humedad de los agregados en obra, y de la cantidad de agua requerida para dosificar, esto hace que la relación de agua-cemento sea mayor. Esto no sucede en centros de hormigonera que ejercen un control de calidad en el mezclado, por lo tanto, es factible dosificar el hormigón con un aditivo reductor de humedad (gel de sílice), con el objetivo de conservar la relación agua-cemento de diseño o a su vez reducirla, para aumentar la resistencia del mismo.

En esta investigación se realizó dos diseños, uno experimental mediante cálculos y el otro mediante la norma A.C.I. 211, los cuales se detallan a continuación:

4.1. Diseño de mezcla para resistencia de 300 Kg/cm²

Para realizar el diseño de una mezcla de hormigón hidráulico, es necesario fijar los parámetros mencionados a continuación:

- La resistencia a la compresión específica del hormigón f^c
- La resistencia a la compresión promedio f^{cr}
- El asentamiento del hormigón con el cono de Abrams
- Relación agua-cemento
- Tipo de cemento

Tabla 30

Condiciones experimentales para el hormigón.

Tipo de Condición	Características Relacionadas	Parámetros Condicionantes
Condiciones de diseño	Resistencia	Tipo de Cemento
		Relación agua/cemento
Condiciones de uso en Obra	Ductilidad	Dosis de agua
	Fluidez	Granulometría
	Consistencia	Tamaño máximo
	Características del elemento estructural	
Condiciones de durabilidad	Condiciones ambientales.	Tipo de cemento
	Ataques agresivos.	Uso de aditivos
		Dosis mínima de cemento

Fuente: (Web Ingeniería Civil 21 Sitio, 2011)

A continuación se describen los parámetros para dosificar hormigones.

Resistencia a la compresión específica del hormigón.

La determinación de este valor es netamente impuesto por el proyectista o calculista de la obra, se lo define con la nomenclatura f^c .

Para el presente proyecto de investigación se procedió a tomar un valor de $f^c=300 \text{ Kg/cm}^2$, la selección de este valor se debe a que es un valor de resistencia media comúnmente usada en la construcción ecuatoriana.

Resistencia a la compresión promedio del hormigón.

Las variaciones que comúnmente se presentan en obra generan un margen de afectación, ya que el hormigón es un material variable y heterogéneo, este tiende a que las mezclas en el laboratorio requieran un porcentaje de mayoración a la cual se la conoce como “Resistencia a la compresión promedio requerida”, la cual viene representada con la nomenclatura f'_{cr} .

El hecho de que, al elaborar una mezcla de hormigón en laboratorio, se deba tomar en consideración que esta netamente es generada como fuente de investigación para conocer los módulos de elasticidad del mismo y no para uso exclusivo en obra, siendo esta la misma para obra (f'_{cr}), ya que estas variaciones generadas para uso en laboratorio son mínimas en comparación con el uso en obra del hormigón.

Asentamiento en el cono de Abrams.

Esta prueba genera una medida de la fluidez de la mezcla de hormigón, con lo cual se llega a determinar la trabajabilidad y la consistencia del hormigón. Las variaciones en el cálculo del asentamiento del hormigón se ven afectadas por factores como: los tamaños de los agregados, la forma de las partículas, la cantidad de agua a emplearse y el porcentaje de cemento a usarse; la normativa a emplearse en el ensayo es la descrita en NTE INEN 1578:2010.

La medida del valor del asentamiento se encuentra establecido por parámetros como: las dimensiones de los elementos, la separación del acero de refuerzo y por la medida del recubrimiento.

Tabla 31
Asentamientos para diferentes tipos de construcciones

Tipo de Construcción	Asentamiento en el cono de Abrams	
	Máximo (cm)	Mínimo (cm)
Muros armados de fundación y cimientos	13	5
Fundaciones, cajones y muros de hormigón en masa	10	2.5
Losas, vigas y muros armados	15	7.5
Soportes de edificación	15	7.5
Pavimentos	7.5	5
Grandes macizos	7.5	2.5

Fuente: (Camaniero, 2010)

El diseño del hormigón con gel de sílice o sílica gel que se presenta en esta investigación, conlleva que se elija un asentamiento arbitrario por el motivo que antes de las pruebas y diseños requeridos era aún desconocidos el comportamiento de este aditivo en el hormigón.

Se asume un asentamiento de 3 cm para las muestras.

Relación agua / cemento (a/c).

La relación existente entre el agua y el peso del cemento, conlleva el principal parámetro capaz de afectar seriamente la resistencia del hormigón, tal es el motivo que cuando se obtenga una correcta trabajabilidad de la mezcla y esta cuente con una relación agua/cemento menor se obtendrá resistencias mucho mayores y viceversa. A una relación de agua/cemento mayor esta tiende a afectar la resistencia del hormigón disminuyéndola.

Debido a las propiedades que tenga la pasta de cemento estas pueden ser factor influyente en las características del hormigón, es importante tomar en consideración la correcta hidratación para la cual es necesario proporcionar condiciones adecuadas; el periodo posterior al vaciado del hormigón es el más relevante siempre y cuando se realice un correcto proceso de “curado” del mismo, este período en la mayoría de construcciones conlleva un lapso de 7 a 14 días, en laboratorio este puede llegar a los 28 días o prolongarse dependiendo de las condiciones de la investigación.

Tabla 32

Relación agua-cemento dependiendo la resistencia.

Resistencia Probable a los 28 días (MPa)	Relación Agua / Cemento (en masa)
45	0.37
42	0.4
40	0.42
35	0.47
32	0.49
30	0.5
28	0.52
25	0.56
24	0.57
21	0.58
18	0.62
15	0.7

Fuente: (Camaniero, 2010)

El valor de la relación agua/cemento seleccionado para el $f'_{cr} = 300 \text{ Kg/cm}^2$ o 30 MPa es: **a/c=0.50**

Tipo de Cemento

La marca de cemento genera problemas entre los cuales se puede enunciar los siguientes: tiempos de fraguado, resistencias, forma de almacenaje, etc.

El almacenaje es factor importante, ya que la presencia de humedad en el ambiente de almacenado puede generar grumos en el cemento lo que a su vez afecta al hormigón, tal es el motivo por el cual se debería descartar estos sacos de cemento, es por eso que para un correcto almacenamiento se sugiere que se los apile en columnas de cinco a ocho sacos, los mismos que deben situarse sobre tabloncillos de madera para asegurar una correcta circulación de aire y evitar el agua (humedad del ambiente). La existencia de diferentes tipos de cemento genera variaciones pequeñas entre ellos, así la densidad de un cemento Portland llega a variar entre 3 y 3.16 gr/cm^3 , el tamaño de las partículas se encuentra en el rango de 1 a 80 micras “actualmente los cementos que se fabrican pasan por el tamiz #200 (74 micras)”, siendo este factor el más importante en la velocidad e intensidad de reacción con el agua. (Concreto, 2015)

Para esta investigación se procedió a seleccionar el cemento de la marca “**Holcim Fuerte Tipo GU**”, por ser el más usado en el medio de la construcción en nuestro país.

4.1.1. Diseño de mezclas para 300 Kg/cm²

En el diseño de la mezcla para un hormigón la cual se procederá a elaborar en el laboratorio se tomó en consideración los parámetros anteriormente mencionados, con lo cual a continuación se expone el cuadro de resumen.

Tabla 33

Diseño de la dosificación del hormigón

Resistencia a la compresión del hormigón $f'c$	Resistencia a la compresión requerida $f'cr$	Asentamiento en el cono de Abrams	Relación agua/cemento	Marca del Cemento
300	300	30 mm	0.5	Holcim Fuerte

4.2. Método de diseño A.C.I. 211

La metodología A.C.I. 211 conlleva un procedimiento para el diseño de mezclas de hormigón, cuyos resultados han sido avalados por experimentación y son el resultado de largas investigaciones en el ámbito de los hormigones, la metodología A.C.I involucra el diseño que establece la mezcla de materiales por volumen absoluto y posteriormente el cálculo de los pesos de los componentes del hormigón, todo esto relacionando a un metro cúbico de hormigón. (Hernández, 2010)

Este método tiene limitantes para la fabricación de hormigones como es el caso que el requerimiento es contar con dos agregados cuyo peso unitario sea superior a 2 g/cm^3 , tomando en consideración la resistencia, trabajabilidad y durabilidad de la mezcla de hormigón. El diseño establecido por el American Concrete Institute establece procesos de ensayo y error, siendo un diseño empírico que durante la marcha tiende a ser corregido de manera gradual hasta obtener las características deseadas del hormigón final. (Hernández, 2010)

El método A.C.I. establece un procedimiento cuyos pasos se mencionan a continuación.

- Seleccionar el asentamiento
- Seleccionar el tamaño máximo del agregado
- Estimar el contenido de aire de la mezcla
- Estimar la cantidad de agua de mezclado
- Determinar la resistencia de diseño
- Seleccionar la relación agua/cemento
- Calcular la cantidad de cemento
- Estimar las proporciones de los agregados
- Ajustes por humedad de los agregados

- Ajustes a la mezcla de prueba.

Resumen de los ensayos realizados a los agregados para la dosificación



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ORIGEN: Holcim Pifo y Píntag

FECHA: 27 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Tabla 34

Resumen de resultados obtenidos de los ensayos a los agregados

		Agregados	
		Grueso	Fino
PESO ESPECÍFICO DEL MATERIAL IMPERMEABLE DE LAS PARTÍCULAS	Kg/m ³	2679	2647
PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SATURADAS CON SUPERFICIE SECA	Kg/m ³	2560	2466
PESO ESPECÍFICO DE LAS PARTÍCULAS SECAS	Kg/m ³	2489	2357
ABSORCIÓN DE AGUA	%	2.8	4.7
MODULO DE FINURA			2.69
HUMEDAD NATURAL	%	1.84	11.77
TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL		1 “	
PESO VOL. SUELTO	Kg/m ³	1247	1460
PESO VOL. COMPACTO	Kg/m ³	1407	1648

4.2.1. Selección del Asentamiento

La selección del asentamiento dependerá de la aplicación que se dé al hormigón, en esta investigación el uso de gel de sílice como aditivo para el

hormigón, conllevó a que se proceda a elegir un asentamiento arbitrario, por motivo de que se desconoce la reacción del gel de sílice con el cemento y los agregados.

Tabla 35

Diseño de la dosificación del hormigón

Asentamiento (cm)		Consistencia (Tipo de concreto)	Grado de Trabajabilidad	Tipo de estructura y condiciones de colocación
Mínimo	máximo			
0	2	Muy seca	Muy pequeño	Vigas o pilotes de alta resistencia con vibraciones de formaleta
2	3.5	Seca	Pequeño	Pavimentos vibrados con máquina mecánica
3.5	5	Semi-seca	Pequeño	Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración. Fundaciones en concreto simple. Pavimentos con vibradores normales.
5	10	Media	Medio	Losas medianamente reforzadas y pavimentos, compactados a mano. Columnas, vigas, fundaciones y muros, con vibración
10	15	Húmeda	Alto	Secciones con mucho refuerzo. Trabajos donde la colocación sea difícil. Revestimiento de túneles. No recomendable para compactarlo con demasiada vibración.

Fuente: (Hernández, 2010)

4.2.2. Determinación del tamaño máximo del agregado

La recomendación para la correcta selección del agregado es que este tenga un tamaño que sea lo más grande posible, para así obtener un porcentaje de vacíos menor, compensando así también el requerimiento de cemento para el hormigón y disminuyendo también el agua para el asentamiento requerido.

- Tamaño máximo del agregado = 1 pulgada o 25.4 mm (Obtenido mediante el análisis granulométrico, Ver Tabla 34).

4.2.3. Estimación del contenido de aire

Para el diseño del hormigón se toma en consideración que el contenido de aire es cero, la razón de esto es que el hormigón no se encontrará sometido a condiciones severas de congelamiento o deshielo.

4.2.4. Cálculo de la cantidad de agua de mezclado

Para determinar la cantidad de agua que requiere el hormigón se debe tomar en cuenta los siguientes datos:

- Tamaño máximo del agregado grueso: 1”
- Asentamiento que se requiere en Obra: 30 mm

Con estos valores se procede a seleccionar en correspondiente valor de la cantidad de agua establecido en la tabla mostrada a continuación.

Tabla 36

Requerimientos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire

Condición del contenido de aire	Asentamiento (cm)	Agua en Kg/m ³ de hormigón para los TMN del agregado indicados							
		10	12.5	20	25	40	50	70	150
Concreto sin aire incluido	3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
	8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
	15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
	Cantidad aproximada de aire atrapado en hormigón sin aire incluido, por ciento	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire	3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
	8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135

incluido	15 a 18 Promedio recomendable de contenido total de aire por ciento	215	205	190	185	170	165	160	-
		8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: (Hernández, 2010)

4.2.5. Determinación de la resistencia de diseño

Para esta investigación se procede a seleccionar como resistencia base los **300 Kg/cm²**, se tomó en consideración que esta es una resistencia promedio empleada para la elaboración de elementos estructurales.

4.2.6. Determinación de la relación agua/cemento

La selección de este valor es el factor más importante, por tal motivo su selección será factor preponderante en la resistencia, impermeabilidad, durabilidad y acabado del hormigón.

Para esta investigación según el método A.C.I. se tomó una relación agua-cemento de 0.45 para una resistencia de $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$. (Ver tabla 37).

Tabla 37

Relación entre la resistencia a la compresión y algunos valores de la relación agua / cemento.

Resistencia a la compresión a los 28 días en Kg/cm² (psi)	Hormigón sin inductor de aire	Hormigón con inductor de aire
	Relación absoluta por peso	Relación absoluta por peso
175 (2 500)	0.65	0.56
210 (3 000)	0.58	0.5
245 (3 500)	0.52	0.46
280 (4 000)	0.47	0.42
300 (4 267)	0.45	0.40

315 (4 500)	0.43	0.38
350 (5 000)	0.4	0.35

Fuente: (Hernández, 2010)

4.2.7. Determinación de la cantidad de cemento para el mezclado

Para determinar la cantidad de cemento por metro cúbico de hormigón, basta tomar en consideración que como se conoce la relación agua/cemento y el contenido de agua, solo se procede a despejar el contenido de cemento C.

$$C = \frac{a}{a/c}$$

4.2.8. Apreciación de las proporciones de los agregados

El American Concrete Institute, establece una serie de tablas entre las cuales presenta la determinación de las proporciones de los agregados de manera sencilla, para la selección de estas, se toma en consideración las siguientes características:

- Módulo de finura de la arena: 2.69 (Ver tabla 38)
- Tamaño máximo nominal del agregado: 1 pulgada o 25mm (Ver tabla 38)

Tabla 38

Volumen de agregado por unidad de hormigón

Máximo tamaño nominal de agregados		Volumen de agregado grueso secado en el horno por unidad de volumen de hormigón para diferentes módulos de finura de agregado fino						
		MÓDULO DE FINURA						
pulgadas	mm	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00
3/8	9.51	0.50	0.49	0.48	0.47	0.46	0.45	0.44
1/2	12.5	0.59	0.58	0.57	0.56	0.55	0.54	0.53
3/4	19.1	0.66	0.65	0.64	0.63	0.62	0.61	0.60
1	25	0.71	0.7	0.69	0.68	0.67	0.66	0.65
1 1/2	38.1	0.75	0.74	0.73	0.72	0.71	0.7	0.69
2	50.8	0.78	0.77	0.76	0.75	0.74	0.73	0.72

3	76.1	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76
6	152.4	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

Fuente: (Hernández, 2010)

4.2.9. Ajustes a la mezcla por humedad de los agregados

Se debe tomar en consideración la humedad de los agregados antes de realizar la mezcla de hormigón, ya que en ciertos casos a simple vista los agregados no presentan humedad superficial, pero esta puede encontrarse intrínseca dentro del material, por esto se debe prever realizar estos ajustes para no afectar la mezcla de hormigón.

Tabla 39

Corrección de humedad.

	Cantidades Iniciales	Cantidades con corrección de Humedad
AGUA	5,15	6,38
CEMENTO	9,86	10,15
ARENA	21,45	20,32
RIPIO	22,44	21,91

4.2.10. Tabla de dosificación “hormigón de 300 Kg/cm²”

Para la dosificación del hormigón en esta investigación se procedió a elaborar una hoja de cálculo con la cual se elaboró el hormigón en el laboratorio siguiendo la normativa impuesta por el A.C.I.

Para cada uno de los porcentajes de aditivo se procedió a elaborar 8 cilindros, los irán en pares para ser ensayos a los 7, 14, 21 y 28 días respectivamente; así como 4 vigas las cuales serán ensayas cada una a los mismos días antes mencionados.

Tabla 40

Cantidades requeridas para elaborar cilindros y vigas para el ensayo.

Desperdicio	5.00	%			
Cemento (Kg)	44.19	44.19	44.19	44.19	44.19
Silica %	0.5%	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%
(Kg)	0.22	0.44	0.88	1.33	1.77
AGUA	2.01	7.63 lt			
CEMENTO	20.70	20.70	Agregado	Agregado	
ARENA	35.99	35.99	3/4'	1'	
RIPIO	47.12	47.12		28.27	18.85
Cilindros	8.00				
AGUA	2.29	8.65 lt			
CEMENTO	23.49	23.49	Agregado	Agregado	
ARENA	40.86	40.86	3/4'	1'	
RIPIO	53.49	53.49		32.09	21.39
Vigas	4.00				

CAPÍTULO V

PROGRAMA DE ENSAYOS

5.1. Tiempo para la elaboración de ensayos.

En la presente investigación se planteó la realización de ensayos a compresión de los cilindros de hormigón a diferentes edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente, para lo cual se tomó 2 muestras para roturas por cada periodo de tiempo, obteniendo la curva de tiempo versus resistencia a la compresión. Adicionalmente a los cilindros de hormigón que pasaron por el proceso de curado durante 28 días, se los preparó para ser ensayos y determinar el módulo estático de elasticidad, obteniendo el análisis esfuerzo Vs deformación, en esta investigación se realizó también ensayos a flexión en vigas de hormigón para lo cual se tuvo una probeta para cada rotura a los 7, 14, 21 y 28 días.

Cuando se preparan los cilindros de hormigón para ser ensayos es recomendable tomar mínimo cuatro lecturas del diámetro de cada cilindro y dos lecturas de la altura de los mismos, ya que este proceso es necesario para evaluar la resistencia del hormigón cuando se lo ensaya a las diferentes edades antes mencionadas; una recomendación importante es tratar de que los cilindros no

permanezcan más de 2 horas fuera de las cámaras de curado antes de ser ensayados, esta consideración también se la tomará en las vigas de hormigón.

5.2. Contenido de aire en el Hormigón.

Este ensayo determina la cantidad de aire que puede contener el hormigón que recién se ha mezclado, la característica en el ensayo es que este excluye cualquier cantidad de aire que puedan poseer las partículas de los agregados, la normativa a seguirse es la ASTM C 231, a continuación, se muestra el registro del ensayo.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ENSAYO DE CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN FRESCO

NORMA ASTM C 231

ORIGEN: Holcim Pifo y Píntag

FECHA: 18 – 08 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Tabla 41

Resultados del ensayo de contenido de aire en el hormigón fresco

CONTENIDO DE AIRE EN EL HORMIGÓN MÉTODO DE PRESIÓN		
Porcentaje de sílica gel		Resultado del ensayo
Hormigón al 0%	→	2.90%
Hormigón al 0.5%	→	2.90%
Hormigón al 1 %	→	3.00%
Hormigón al 2 %	→	3.00%

Hormigón al 3 %	→	3.00%
Hormigón al 4 %	→	2.90%

Observación: Se muestran los resultados del ensayo, donde se evidencia que el gel de sílice no afecta el contenido de aire en el hormigón fresco.

Registro Fotográfico del Ensayo



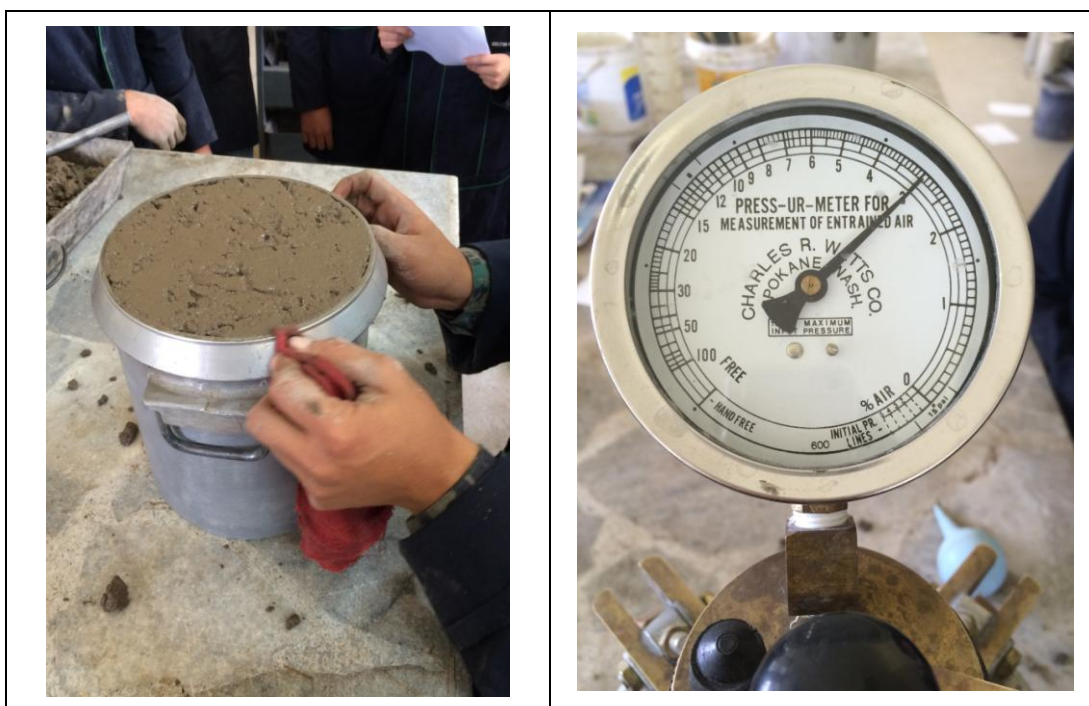


Figura 51 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo para contenido de aire en el hormigón.

5.3. Registro de temperatura en el hormigón durante el vaciado

Durante el proceso de mezclado de los agregados, el cemento y el agua, para formar el hormigón se procedió a realizar un registro de temperaturas de la mezcla en estado fresco, regido a la norma A.C.I. 305.1-06; esto ayudo a verificar el comportamiento que tiene el sílica gel al ingresar al hormigón fresco. A continuación, se muestra la tabla de registros.

Tabla 42

Registro de temperaturas del hormigón fresco

N°	Fecha de Fundición	Sílica Gel %	Temperatura °C	Variación %
1	30-jun-16	0.00	26.4	
2	30-jun-16	0.50	23.5	0.89

17	12-jul-16	1.00	23.5	0.89
18	12-jul-16	2.00	22.1	0.84
33	26-jul-16	3.00	21.6	0.82
34	26-jul-16	4.00	21.4	0.81

Observación: Se evidencia que el sílica gel actúa como agente reductor de temperatura para el hormigón, a mayores cantidades de este gel se consigue una mayor disminución en la temperatura.

5.4. Resistencia a la compresión a edades de 7, 14, 21 y 28 días.

En el ensayo de resistencia a la compresión, es importante tomar en consideración la correcta medición de diámetros y alturas de los cilindros siguiendo el procedimiento descrito en la ASTM C39 o INEN 1 573:2010, para el ensayo se empleó la máquina de compresión la cual posee un medidor para poder generar una carga constante al cilindro, evitando que así aparezca otra variable en el ensayo.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA INEN 1 573:2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 0%

Tabla 43

Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 0%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Edad (Días)	% Sílica	Dimensiones		Peso de la Probeta(g)	Carga (T)	Carga (T) Prom.	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²) Promedio	Diferencia	N Ensayo	Probetas
					Altura (mm)	Diámetro (mm)									
1	30-jun-16	07-jul-16	7	0.0%	306.0	153.0	12557.10	40.036	39.255	18385.386	217.76	212.43	3.90%	15	1
2	30-jun-16	07-jul-16	7	0.0%	302.0	153.8	12282.50	38.474		18578.154	207.09			14	2
3	30-jun-16	14-jul-16	14	0.0%	303.0	153.6	12291.10	48.819	48.517	18529.867	263.46	264.58	1.24%	22	3
4	30-jun-16	14-jul-16	14	0.0%	305.0	152.0	12556.90	48.214		18145.839	265.70			23	4
5	30-jun-16	21-jul-16	21	0.0%	299.0	150.0	12013.00	49.135	46.422	17671.459	278.05	278.05	11.04%	40	5
6	30-jun-16	21-jul-16	21	0.0%	302.0	150.2	11992.50	43.709		17718.614	246.68			42	6
7	30-jun-16	28-jul-16	28	0.0%	302.0	151.0	12044.00	56.999	60.250	17907.864	318.29	318.29	10.24%	61	7
8	30-jun-16	28-jul-16	28	0.0%	306.0	153.2	12620.10	63.500		18433.483	344.48			63	8



Laboratorio de Ensayo de Materiales

**DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO
HIDRÁULICO**

NORMA INEN 1 573:2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 0.5%

Tabla 44

Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 0.5%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Edad (Días)	% Sílica	Dimensiones		Peso de la Probeta(g)	Carga (T)	Carga (T) Prom.	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²) Promedio	Diferencia	N Ensayo	Probetas
					Altura (mm)	Diámetro (mm)									
9	30-jun-16	07-jul-16	7	0.5%	307.0	156.2	13283.90	42.304	40.497	19162.490	220.76	214.24	8.54%	12	1
10	30-jun-16	07-jul-16	7	0.5%	305.0	154.0	12818.50	38.690		18626.503	207.71			13	2
11	30-jun-16	14-jul-16	14	0.5%	305.0	150.4	12307.00	42.350	42.609	17765.832	238.38	236.69	1.21%	20	3
12	30-jun-16	14-jul-16	14	0.5%	305.0	152.4	12647.90	42.868		18241.469	235.00			21	4
13	30-jun-16	21-jul-16	21	0.5%	300.0	150.4	12080.30	48.793	41.768	17765.832	274.65	274.65	28.80%	41	5
14	30-jun-16	21-jul-16	21	0.5%	304.0	152.8	12667.20	34.743		18337.351	189.47			43	6
15	30-jun-16	28-jul-16	28	0.5%	305.0	152.2	12487.40	47.544	51.816	18193.623	261.32	309.91	15.23%	60	7
16	30-jun-16	28-jul-16	28	0.5%	306.0	151.8	12455.80	56.088		18098.118	309.91			62	8



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA INEN 1 573:2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 1%

Tabla 45

Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 1%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Edad (Días)	% Sílica	Dimensiones		Peso de la Probeta(g)	Carga (T)	Carga (T) Prom.	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²) Promedio	Diferencia	N Ensayo	Probetas
					Altura (mm)	Diámetro (mm)									
17	12-jul-16	19-jul-16	7	1.0%	307.0	152.6	12865.30	41.831	39.927	18289.379	228.72	221.94	9.11%	30	1
18	12-jul-16	19-jul-16	7	1.0%	303.0	150.0	12117.50	38.022		17671.459	215.16			31	2
19	12-jul-16	26-jul-16	14	1.0%	300.0	151.6	12150.00	58.826	58.917	18050.460	325.90	329.24	0.31%	52	3
20	12-jul-16	26-jul-16	14	1.0%	303.0	150.3	12734.30	59.008		17742.215	332.59			50	4
21	12-jul-16	02-ago-16	21	1.0%	303.0	154.0	12380.00	54.082	55.006	18626.503	290.35	300.10	3.30%	74	5
22	12-jul-16	02-ago-16	21	1.0%	307.0	151.6	12507.10	55.930		18050.460	309.85			75	6
23	12-jul-16	09-ago-16	28	1.0%	305.0	151.6	12480.70	63.319	61.497	18050.460	350.79	340.26	5.75%	80	7
24	12-jul-16	09-ago-16	28	1.0%	305.0	151.8	12502.00	59.675		18098.118	329.73			81	8



Laboratorio de Ensayo de Materiales

**DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO
HIDRÁULICO**

NORMA INEN 1 573:2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 2%

Tabla 46

Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 2%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Edad (Días)	% Sílica	Dimensiones		Peso de la Probeta(g)	Carga (T)	Carga (T) Prom.	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²) Promedio	Diferencia	N Ensayo	Probetas
					Altura (mm)	Diámetro (mm)									
25	12-jul-16	19-jul-16	7	2.0%	302.0	152.0	12406.00	37.407	38.095	18145.839	206.15	211.65	3.55%	32	1
26	12-jul-16	19-jul-16	7	2.0%	302.0	150.8	12107.40	38.783		17860.457	217.14			33	2
27	12-jul-16	26-jul-16	14	2.0%	304.0	152.4	12611.00	51.305	51.872	18241.469	281.25	289.00	2.16%	53	3
28	12-jul-16	26-jul-16	14	2.0%	300.0	150.0	12124.30	52.438		17671.459	296.74			51	4
29	12-jul-16	02-ago-16	21	2.0%	306.0	156.0	13274.20	65.961	60.587	19113.450	345.10	298.75	16.29%	76	5
30	12-jul-16	02-ago-16	21	2.0%	306.0	153.4	12741.50	55.213		18481.644	298.75			77	6
31	12-jul-16	09-ago-16	28	2.0%	304.0	150.4	12314.80	47.870	54.790	17765.832	269.45	341.87	22.43%	82	7
32	12-jul-16	09-ago-16	28	2.0%	306.0	151.6	12625.90	61.709		18050.460	341.87			82-11:45	8



Laboratorio de Ensayo de Materiales

**DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO
HIDRÁULICO**

NORMA INEN 1 573:2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 3%

Tabla 47

Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 3%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Edad (Días)	% Sílica	Dimensiones		Peso de la Probeta(g)	Carga (T)	Carga (T) Prom.	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²) Promedio	Diferencia	N Ensayo	Probetas
					Altura (mm)	Diámetro (mm)									
33	26-jul-16	02-ago-16	7	3.0%	308.0	156.0	13483.50	58.496	52.237	19113.450	306.05	246.84	21.40%	70	1
34	26-jul-16	02-ago-16	7	3.0%	305.0	154.0	12818.20	45.978		18626.503	246.84			71	2
35	26-jul-16	09-ago-16	14	3.0%	302.0	153.0	12488.70	54.478	54.354	18385.386	296.31	298.77	0.46%	90	3
36	26-jul-16	09-ago-16	14	3.0%	301.0	151.4	12370.60	54.229		18002.865	301.22			93	4
37	26-jul-16	16-ago-16	21	3.0%	307.0	152.8	13078.50	75.095	71.979	18337.351	409.52	394.51	8.30%	103	5
38	26-jul-16	16-ago-16	21	3.0%	305.0	152.0	12672.90	68.862		18145.839	379.49			101	6
39	26-jul-16	23-ago-16	28	3.0%	305.0	152.4	12837.90	77.508	76.465	18241.469	424.90	421.37	2.69%	121	7
40	26-jul-16	23-ago-16	28	3.0%	307.0	151.6	12643.60	75.421		18050.460	417.83			123	8



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA COMPRESIÓN EN ESPECÍMENES CILÍNDRICOS DE HORMIGÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO

NORMA INEN 1 573:2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 4%

Tabla 48

Registro de resultados de cilindros ensayados con sílica gel al 4%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Edad (Días)	% Sílica	Dimensiones		Peso de la Probeta(g)	Carga (T)	Carga (T) Prom.	Área (mm ²)	Resistencia (kg/cm ²)	Resistencia (kg/cm ²) Promedio	Diferencia	N Ensayo	Probetas
					Altura (mm)	Diámetro (mm)									
41	26-jul-16	02-ago-16	7	4.0%	304.0	152.6	12942.30	46.005	43.103	18289.379	251.54	251.54	12.62%	72	1
42	26-jul-16	02-ago-16	7	4.0%	302.0	148.6	12211.00	40.200		17343.131	231.79				
43	26-jul-16	09-ago-16	14	4.0%	304.0	152.8	13154.00	61.237	61.546	18337.351	333.95	336.96	1.00%	92	3
44	26-jul-16	09-ago-16	14	4.0%	306.0	152.2	12757.20	61.854		18193.623	339.98				
45	26-jul-16	16-ago-16	21	4.0%	305.0	153.2	12941.10	68.179	68.111	18433.483	369.86	366.17	0.20%	102	5
46	26-jul-16	16-ago-16	21	4.0%	310.0	154.6	13226.30	68.043		18771.927	362.47				
47	26-jul-16	23-ago-16	28	4.0%	307.0	152.8	13090.10	75.473	73.637	18337.351	411.58	403.11	4.87%	120	7
48	26-jul-16	23-ago-16	28	4.0%	305.0	152.2	12802.30	71.800		18193.623	394.64				

Esfuerzo del Hormigón en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 49

Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 0%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	Peso de la probeta	% Sílica	Carga (T)	Resistencia (kg/cm ²)
1	jueves, 30 de junio de 2016	Jueves, 7 de julio de 2016	7	12557.10	0%	39.26	212.43
3	jueves, 30 de junio de 2016	Jueves, 14 de julio de 2016	14	12291.10	0%	48.52	264.58
5	jueves, 30 de junio de 2016	Jueves, 21 de julio de 2016	21	12013.00	0%	46.42	278.05
7	jueves, 30 de junio de 2016	Jueves, 28 de julio de 2016	28	12044.00	0%	60.25	318.29

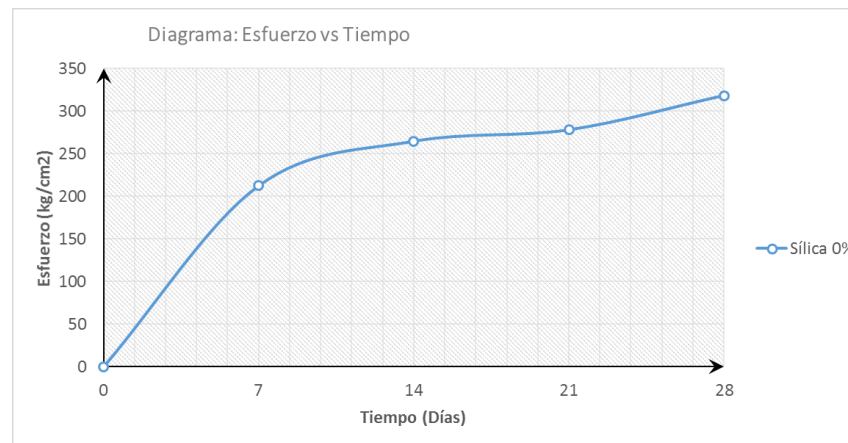


Figura 52 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0%

En la figura 52 se muestra, los ensayos de compresión de las probetas patrón (sin gel de sílice) relacionando el esfuerzo (kg/cm²) que se produjo al ensayar la probeta de hormigón con las edades (7, 14, 21 y 28 días), de acuerdo a la normativa INEN 1 573:2010.

Esfuerzo del Hormigón en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 50

Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 0.5%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	Peso de la probeta	% Sílica	Carga (T)	Resistencia (kg/cm ²)
9	jueves, 30 de junio de 2016	Jueves, 7 de julio de 2016	7	13283.90	0.5%	40.50	214.24
11	jueves, 30 de junio de 2016	Jueves, 14 de julio de 2016	14	12307.00	0.5%	42.61	236.69
13	jueves, 30 de junio de 2016	Jueves, 21 de julio de 2016	21	12080.30	0.5%	41.77	274.65
15	jueves, 30 de junio de 2016	Jueves, 28 de julio de 2016	28	12487.40	0.5%	51.82	309.91

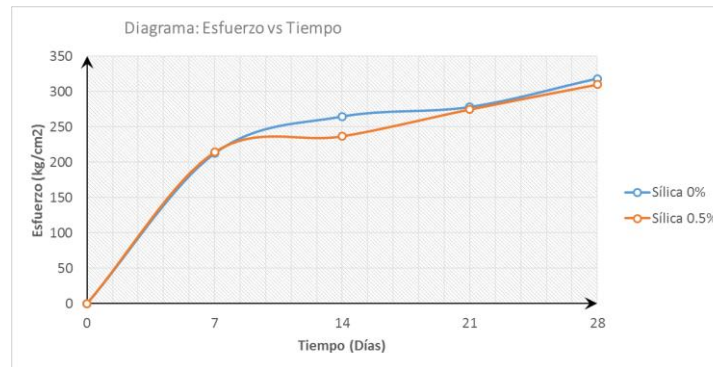


Figura 53 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 0.5%

En la figura 53 se observa, la comparación de los ensayos a compresión de las muestras patrón (sin gel de sílice) con las probetas con 0.5% de gel de sílice, donde se evidencia que al poseer un porcentaje bajo del aditivo este disminuye su resistencia a la carga vertical suministrada a las edades de 14, 21 y 28 días.

Esfuerzo del Hormigón en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 51

Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 1.0%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	Peso de la probeta	% Sílica	Carga (T)	Resistencia (kg/cm ²)
17	martes, 12 de julio de 2016	martes, 19 de julio de 2016	7	12865.30	1.0%	39.93	221.94
19	martes, 12 de julio de 2016	martes, 26 de julio de 2017	14	12150.00	1.0%	58.92	329.24
21	martes, 12 de julio de 2016	martes, 2 de agosto de 2018	21	12380.00	1.0%	55.01	300.10
23	martes, 12 de julio de 2016	martes, 9 de agosto de 2019	28	12480.70	1.0%	61.50	340.26

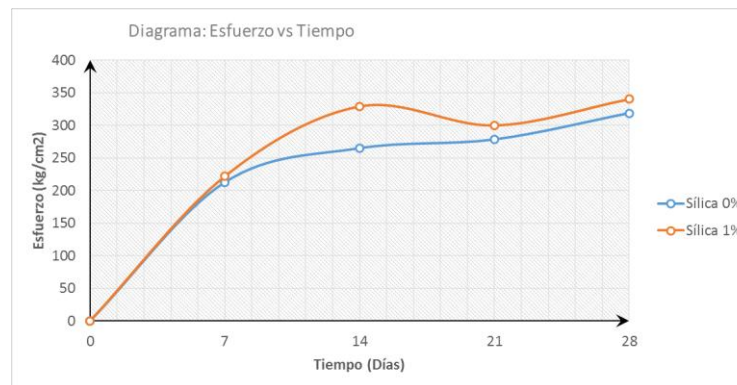


Figura 54 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 1.0%

En la figura 54 se observa, la comparación de los ensayos a compresión de las muestras patrón (sin gel de sílice) con las probetas con 1% de gel de sílice, se puede notar que el aditivo influyó en la resistencia al generar un gran crecimiento de la misma a la edad de 14 días, a la edad de 28 días se produjo un ligero aumento en la carga que este soportó.

Esfuerzo del Hormigón en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 52

Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 2.0%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	Peso de la probeta	% Sílica	Carga (T)	Resistencia (kg/cm ²)
25	martes, 12 de julio de 2016	martes, 19 de julio de 2016	7	12406.00	2.0%	38.10	211.65
27	martes, 12 de julio de 2016	martes, 26 de julio de 2016	14	12611.00	2.0%	51.87	289.00
29	martes, 12 de julio de 2016	martes, 2 de agosto de 2016	21	13274.20	2.0%	60.59	298.75
31	martes, 12 de julio de 2016	martes, 9 de agosto de 2016	28	12314.80	2.0%	54.79	341.87

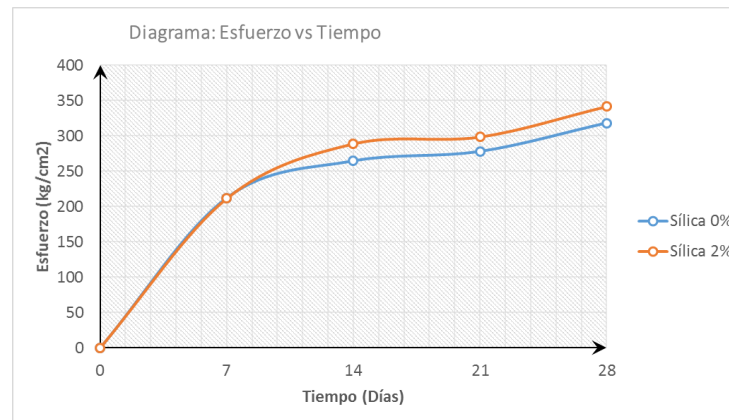


Figura 55 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 2.0%

En la figura 55 se observa, la comparación de los ensayos a compresión de las muestras patrón (sin gel de sílice) con las probetas con 2% de gel de sílice, se puede notar que el aditivo influyó en la resistencia al generar un gran crecimiento de la misma.

Esfuerzo del Hormigón en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 53

Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 3.0%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	Peso de la probeta	% Sílica	Carga (T)	Resistencia (kg/cm ²)
33	martes, 26 de julio de 2016	martes, 2 de agosto de 2016	7	13483.50	3.0%	52.24	246.84
35	martes, 26 de julio de 2016	martes, 9 de agosto de 2016	14	12488.70	3.0%	54.35	298.77
37	martes, 26 de julio de 2016	martes, 16 de agosto de 2016	21	13078.50	3.0%	71.98	394.51
39	martes, 26 de julio de 2016	martes, 23 de agosto de 2016	28	12837.90	3.0%	76.46	421.37

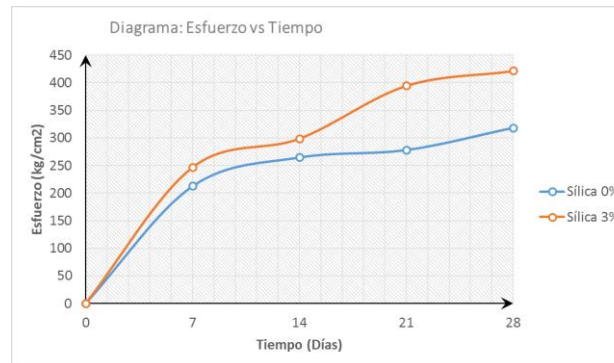


Figura 56 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 3.0%

En la figura 56 se observa, la comparación de los ensayos a compresión de las muestras patrón (sin gel de sílice) con las probetas con 3% de gel de sílice, se puede notar que el aditivo influyó en la resistencia al generar un gran crecimiento de la misma a las edades de 7, 14, 21 y 28 días, dando como resultado el mejor porcentaje de inclusión del aditivo para el hormigón hidráulico.

Esfuerzo del Hormigón en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 54

Resumen de resistencias promedio de los cilindros con sílica gel al 4.0%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	Peso de la probeta	% Sílica	Carga (T)	Resistencia (kg/cm ²)
41	martes, 26 de julio de 2016	martes, 2 de agosto de 2016	7	12942.30	4.0%	43.10	251.54
43	martes, 26 de julio de 2016	martes, 9 de agosto de 2016	14	13154.00	4.0%	61.55	336.96
45	martes, 26 de julio de 2016	martes, 16 de agosto de 2016	21	12941.10	4.0%	68.11	366.17
47	martes, 26 de julio de 2016	martes, 23 de agosto de 2016	28	13090.10	4.0%	73.64	403.11

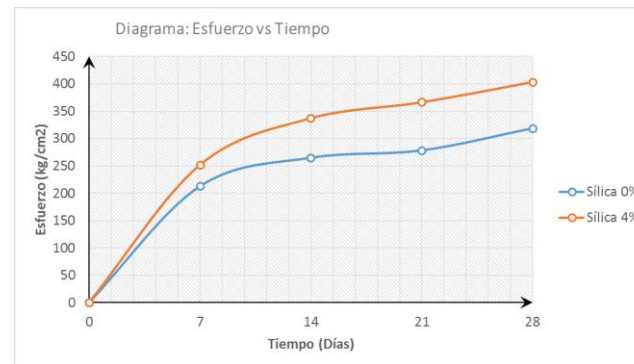
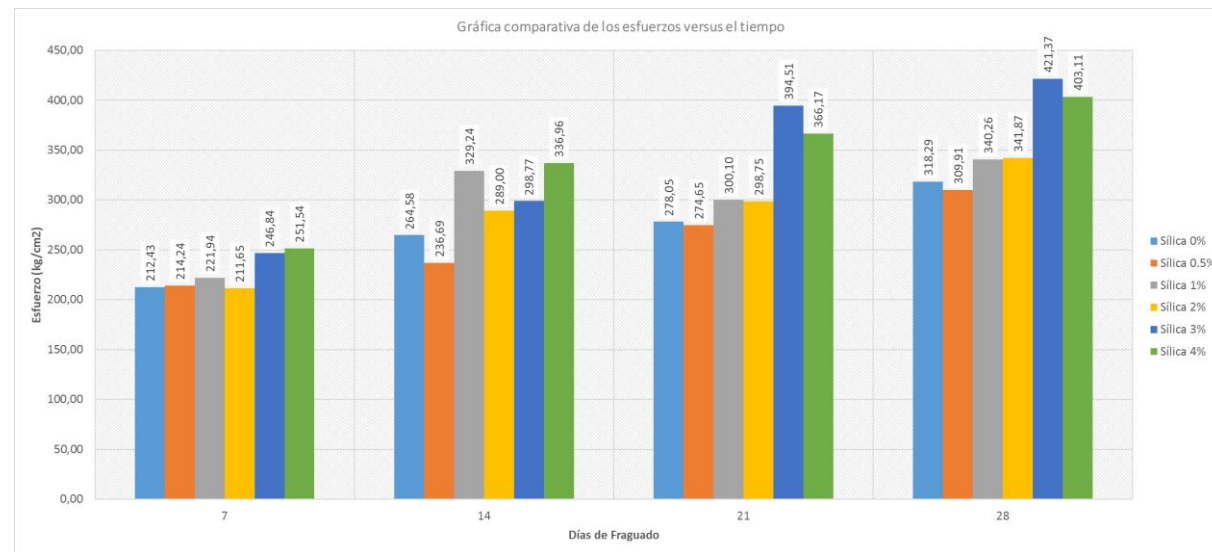


Figura 57 Gráfico carga vs tiempo para sílica al 0% y 4.0%

En la figura 57 se observa, la comparación de los ensayos a compresión de las muestras patrón (sin gel de sílice) con las probetas con 4% de gel de sílice, se puede evidenciar un comportamiento del aditivo de manera favorable para la resistencia a la carga vertical, presentando al final un mejor valor en comparación con la muestra patrón, pero no logrando superar la efectividad al insertar 3% del polímero a la mezcla.

Tabla 55*Diferencia porcentual de resistencias*

Días	Diferencia porcentual de Resistencia					
	0% Sílica	0,5% Sílica	1% Sílica	2% Sílica	3% Sílica	4% Sílica
7	0,00	1,01	1,04	1,00	1,16	1,18
14	0,00	0,89	1,24	1,09	1,13	1,27
21	0,00	0,99	1,08	1,07	1,42	1,32
28	0,00	0,97	1,07	1,07	1,32	1,27

**Figura 58** Comparativa de valores de resistencias en cilindros a edades de 7, 14, 21 y 28 días.

En la figura 58 se observa, un resumen de todas las resistencias para cada una de las edades, donde se evidencia que al añadir 3% de gel de sílice se obtiene los mejores resultados en ensayos a compresión

Registro Fotográfico del Ensayo



Figura 59 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo de compresión a los cilindros de hormigón.

Determinación del esfuerzo a la compresión mediante el uso del Esclerómetro

Para la determinación del esfuerzo a la compresión, se procedió a emplear el esclerómetro cuyo funcionamiento consta de una pesa tensada con un muelle, la cual es lanzada contra el hormigón y se mide su rebote; el uso del esclerómetro era aplicado solamente para medir el esfuerzo a la compresión en rocas, este paso por un proceso de adaptación con el cual se llevó el uso también a medir la compresión en hormigones.

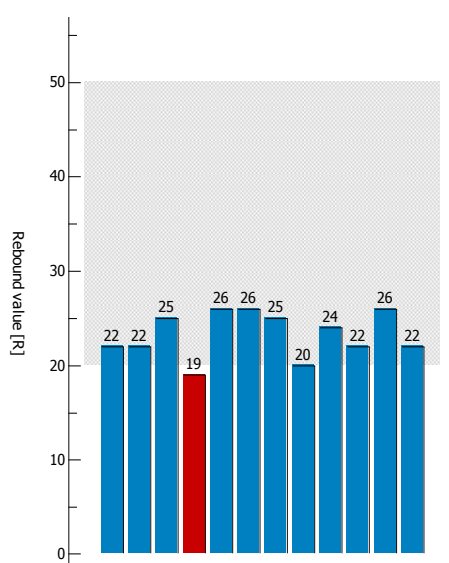
Esta metodología no es exclusivamente fiable, pero su uso se ha extendido rápidamente, ya que sus resultados son aproximados, pero se debe emplear como un método de comprobación.

Para la presente investigación se procedió a ensayar solo ciertos cilindros y tener una idea de la variación en resultados con respecto a si estos fuesen ensayados en la máquina de compresión; “los resultados obtenidos no son usados, motivo por la cual estos no forman parte relevante de la investigación”.

PROCEQ - DIGISCHMIDT (4.5, 88-3386, ND 5020)

Title: LABORAT 0025 **Date:** 09-Aug-2016 09:30 **Name:** RUGEL-ZAMORA

Remarks:



Set parameters

Impact direction	→
Eliminate outliers	MB
Conversion curve	Average Curve J
Form factor	0.95
Time factor	1.00
Carbonation depth	d = -

Statistic

Number of measurements	N = 12
Mean rebound value	m = 23.3 R
Mean compressive strength	f _{ck} = 166 kg/cm ²
Standard deviation	sa = 2.4 R
Maximum rebound value	Max = 26 R
Minimum rebound value	Min = 19 R
Span	R = 7 R

Measured rebound value [R]

22	22	25	19	26	26	25	20	24	22	26
22										

Figura 60 Resultado del valor a la compresión para el cilindro N°23, mediante el software PROVISTA

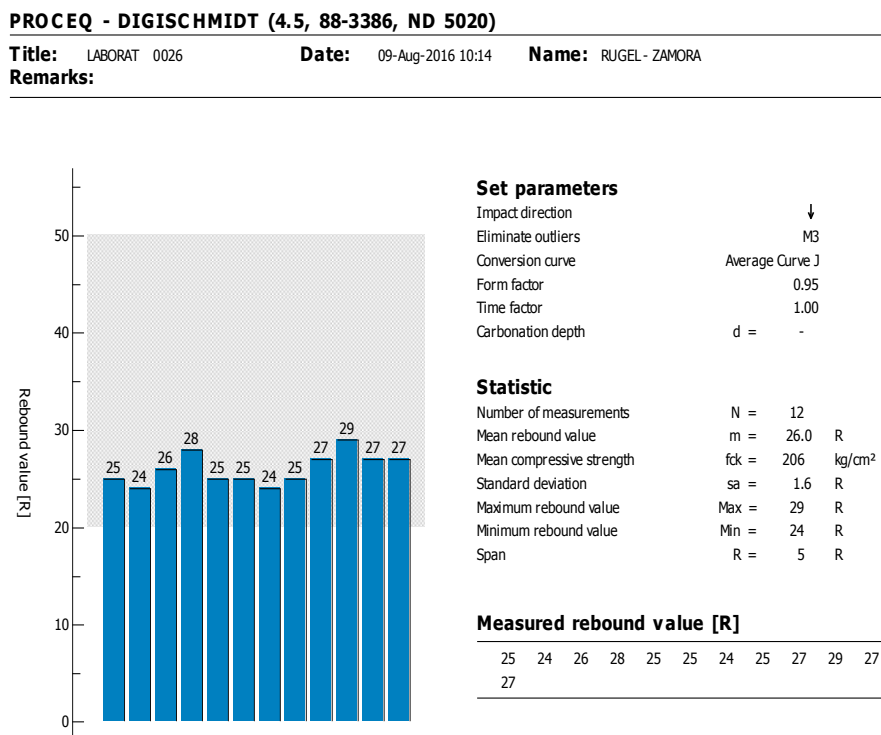


Figura 61 Resultado del valor a la compresión para el cilindro N°23, mediante el software PROVISTA

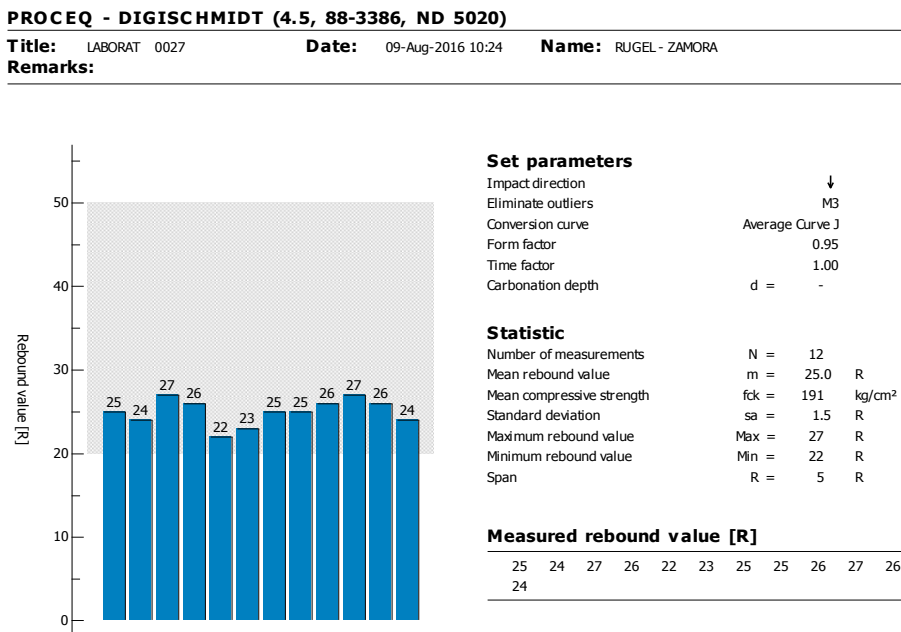


Figura 62 Resultado del valor a la compresión para el cilindro N° 31, mediante el software PROVISTA

Registro Fotográfico del Ensayo



Figura 63 Registro fotográfico del procedimiento de ensayo con el Esclerómetro.

5.5. Preparación de equipos para medir deformaciones

Para la determinación del módulo estático de elasticidad del hormigón, se procede a realizar ensayos de compresión en los cuales se va a medir deformaciones, en estos ensayos es necesario determinar cada una de las variaciones en su deformación longitudinal que sufre el hormigón mediante intervalos de carga los cuales son suministrados por la máquina universal y dichos valores son obtenidos mediante mediciones con la ayuda de un deformímetro.

La medición de las variaciones por compresión del hormigón se las realizó con la ayuda de un acople de dos anillos metálicos los cuales aseguran el deformímetro, para que pueda realizar una medición precisa de la deformación, una recomendación importante para estas mediciones es no llegar hasta la rotura de la probeta. En ocasiones por efectos de montaje del aparato al dial de deformación se generan lecturas iguales al doble de la deformación verdadera de la probeta de hormigón, por lo cual se recomienda seguir la normativa del ensayo, en el caso de la velocidad de rotura la máquina Universal debe contar con los requerimientos establecidos en la normativa ASTM E-4 y para calibración la normativa ASTM E-74.

Para el ensayo de la determinación del módulo estático de elasticidad del hormigón se tomó las recomendaciones establecidas en la normativa ASTM C-469-2010, “Método estándar de ensayo para determinar el módulo estático de elasticidad y relación de Poisson del hormigón en compresión”.



Figura 64 Máquina Universal para Compresión.

5.5.1. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón,

método experimental

Las características que posee un hormigón es ser un material íntegramente elástico, la definición de módulo de elasticidad es que la relación entre el esfuerzo y la deformación, por lo tanto, se debería hablar netamente de un módulo de deformación longitudinal, el cual genera un diagrama de σ Vs ε .

En la presente investigación se determinó el módulo de elasticidad mediante dos metodologías:

- Determinación experimental
- Determinación teórica

Determinación experimental

Para la determinación se procedió a emplear la ecuación para el cálculo del módulo de elasticidad del hormigón:

$$E_c = \frac{0.4\sigma_{\text{máx}} - \sigma_{(0.00005)}}{\varepsilon_{0.4 \sigma_{\text{máx}}} - 0.00005}$$

Dónde:

E_c : Módulo de elasticidad del hormigón.

$\sigma_{\text{máx}}$: Esfuerzo de rotura.

$\sigma_{(0.00005)}$: Esfuerzo conforme a una deformación unitaria de 0.00005.

$\varepsilon_{0.4 \sigma_{\text{máx}}}$: Deformación conforme al 40% del esfuerzo de rotura.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

REGISTRO DE DEFORMACIONES DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON 0% DE SÍLICA GEL

NORMA ASTM C-469-2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag **FECHA:** -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Tabla 56

Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 0% de sílica gel.

Cilindro N°	8	Área (mm ²):	18433.48
N° de Muestra	8	Carga de Rotura (T):	63.5
Fecha de Ensayo:	28/07/2016	Altura (mm):	306
Edad:	28 días		
Díámetro (mm):	153.2	Norma:	ASTM C-496-94
Apreciación:	0,001 mm		

Cantidad de Sílica Gel 0%

N°	Carga (T)	Deformación (0,0001 plg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
0	0.436	0	0.000	2.409	0.236	0.00000
1	2.206	5	0.013	12.189	1.195	0.00004
2	3.956	10	0.025	21.859	2.144	0.00008
3	5.660	15	0.038	31.274	3.067	0.00012
4	7.274	20	0.051	40.192	3.941	0.00017
5	8.903	25	0.064	49.193	4.824	0.00021
6	10.425	30	0.076	57.603	5.649	0.00025
7	11.902	35	0.089	65.764	6.449	0.00029
8	13.330	40	0.102	73.654	7.223	0.00033
9	14.670	45	0.114	81.058	7.949	0.00037
10	16.230	50	0.127	89.678	8.794	0.00042
11	19.192	60	0.152	106.044	10.399	0.00050
12	22.130	70	0.178	122.278	11.991	0.00058
13	24.440	80	0.203	135.042	13.243	0.00066
14	27.198	90	0.229	150.281	14.738	0.00075
15	29.430	100	0.254	162.614	15.947	0.00083
16	35.192	125	0.318	194.451	19.069	0.00104

	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
Mín	1.39	0.00005
Máx	10.251	0.00049

Módulo de Elasticidad experimental	
Ec	20123.14419 Mpa

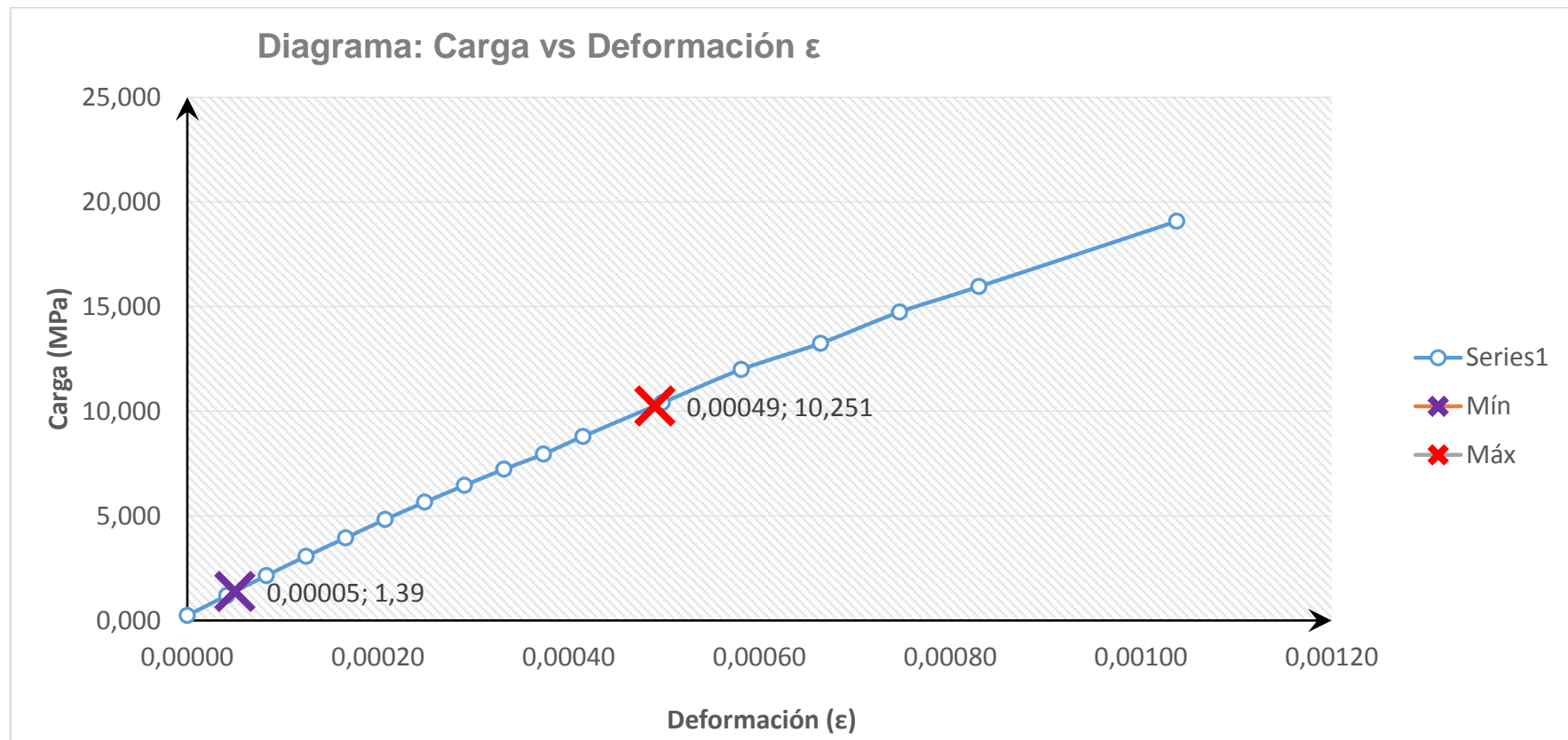


Figura 65 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 0% de sílica gel.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

REGISTRO DE DEFORMACIONES DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON 0.5% DE SÍLICA GEL

NORMA ASTM C-469-2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag **FECHA:** -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Tabla 57

Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 0% de sílica gel.

Cilindro N°	15	Área (mm ²):	18193.62
N° de Muestra	7	Carga de Rotura (T):	47.544
Fecha de Ensayo:	28/07/2016	Altura (mm):	305
Edad:	28 días		
Dímetro (mm):	152.2	Norma:	ASTM C-496-94
Apreciación:	0,001 mm		

Cantidad de Sílica Gel 0,5%

N°	Carga (T)	Deformación (0,0001 plg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
0	0.411	0	0.000	2.271	0.223	0.00000
1	1.798	5	0.013	9.935	0.974	0.00004
2	3.656	10	0.025	20.201	1.981	0.00008
3	5.282	15	0.038	29.185	2.862	0.00012
4	6.912	20	0.051	38.192	3.745	0.00017
5	8.470	25	0.064	46.800	4.590	0.00021
6	10.090	30	0.076	55.752	5.467	0.00025
7	11.382	35	0.089	62.891	6.167	0.00029
8	13.013	40	0.102	71.903	7.051	0.00033
9	14.560	45	0.114	80.450	7.889	0.00037
10	16.160	50	0.127	89.291	8.756	0.00042
11	19.982	60	0.152	110.409	10.827	0.00050
12	21.920	70	0.178	121.118	11.878	0.00058
13	24.440	80	0.203	135.042	13.243	0.00067
14	26.930	90	0.229	148.800	14.592	0.00075
15	29.440	100	0.254	162.669	15.952	0.00083
16	34.790	125	0.318	192.230	18.851	0.00104

	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
Mín	1.18	0.00005
Máx	13.513	0.00068

Módulo de Elasticidad experimental		
Ec	19492.48939	Mpa

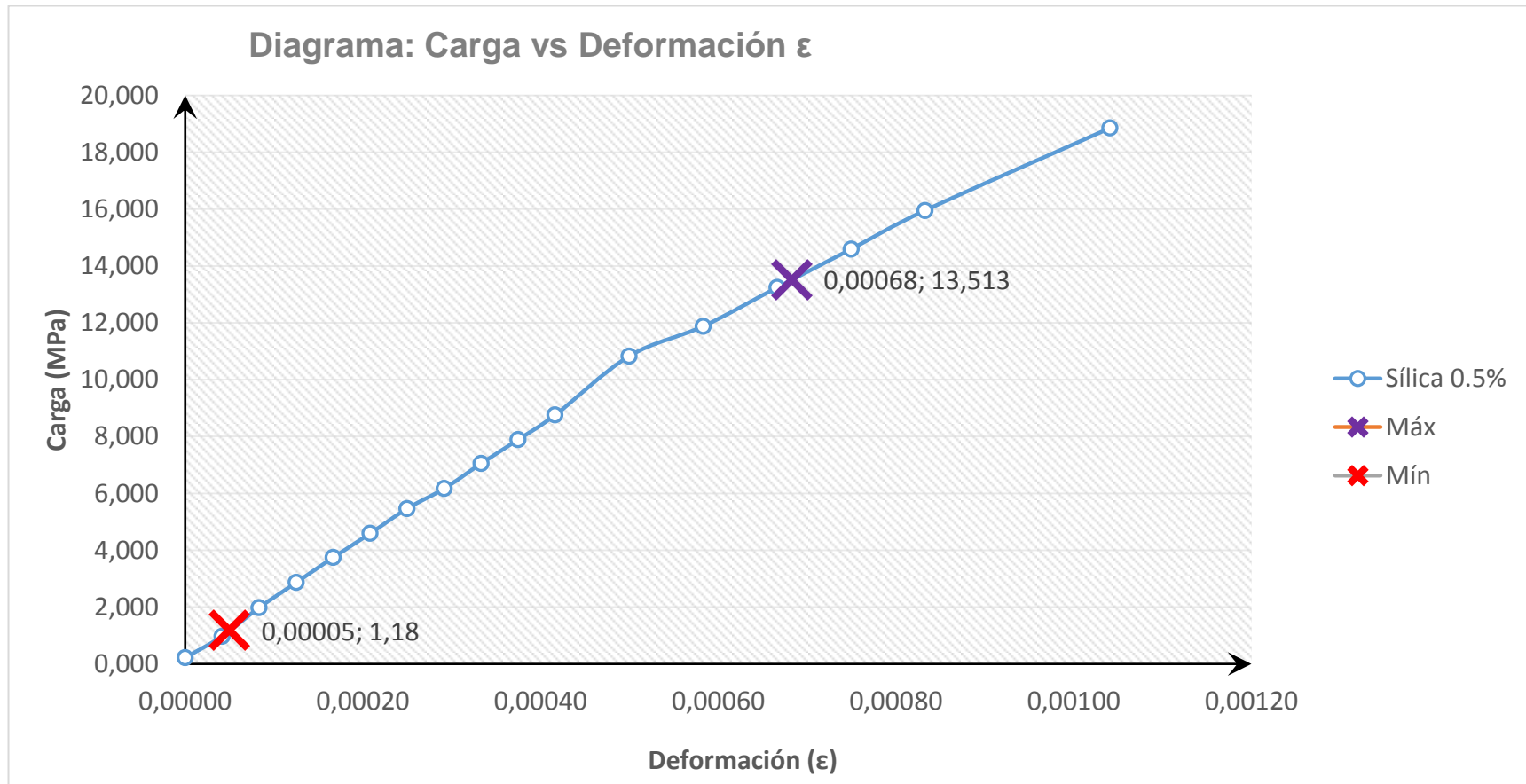


Figura 66 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 0.5% de sílica gel.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

REGISTRO DE DEFORMACIONES DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON 1% DE SÍLICA GEL

NORMA ASTM C-469-2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag **FECHA:** -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Tabla 58

Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 1% de sílica gel.

Cilindro Nº	24	Área (mm ²):	18098.12
Nº de Muestra	8	Carga de Rotura (T):	59.675
Fecha de Ensayo:	09/08/2016	Altura (mm):	305
Edad:	28 días		
Dímetro (mm):	151.8	Norma:	ASTM C-496-94
Apreciación:	0,001 mm		

Cantidad de Sílica Gel 1%

Nº	Carga (T)	Deformación (0,0001 plg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
0	0.411	0	0.000	2.271	0.223	0.00000
1	3.249	5	0.013	17.952	1.761	0.00004
2	4.935	10	0.025	27.268	2.674	0.00008
3	6.550	15	0.038	36.192	3.549	0.00012
4	8.080	20	0.051	44.646	4.378	0.00017
5	9.732	25	0.064	53.774	5.273	0.00021
6	11.324	30	0.076	62.570	6.136	0.00025
7	12.886	35	0.089	71.201	6.982	0.00029
8	14.326	40	0.102	79.157	7.763	0.00033
9	15.703	45	0.114	86.766	8.509	0.00037
10	17.112	50	0.127	94.551	9.272	0.00042
11	19.662	60	0.152	108.641	10.654	0.00050
12	22.386	70	0.178	123.692	12.130	0.00058
13	25.132	80	0.203	138.865	13.618	0.00067
14	28.732	90	0.229	158.757	15.569	0.00075
15	30.186	100	0.254	166.791	16.357	0.00083
16	36.084	125	0.318	199.380	19.552	0.00104

	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
Mín	1.94	0.00005
Máx	12.934	0.00063

Módulo de Elasticidad experimental	
Ec	19015.7299 Mpa

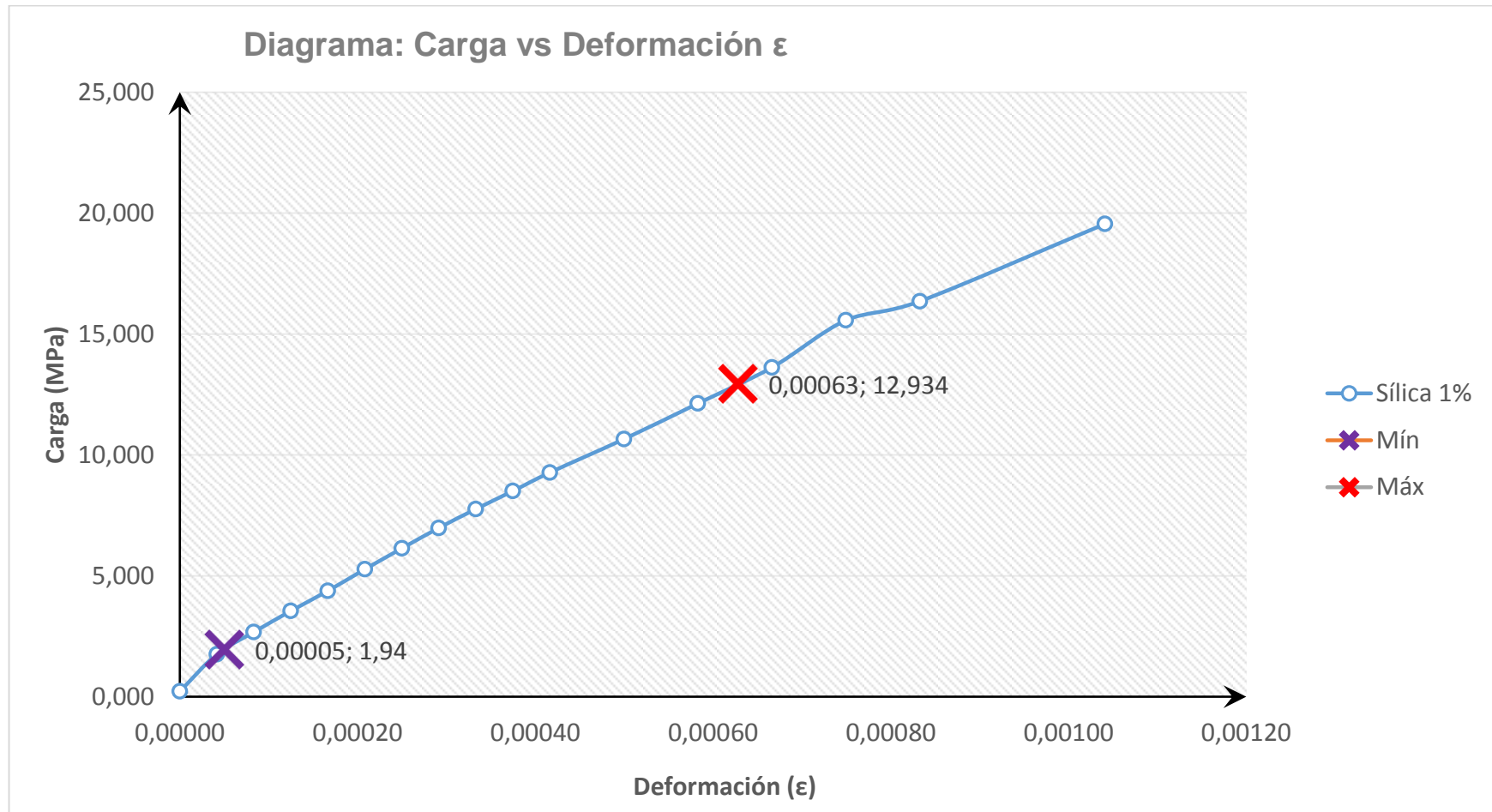


Figura 67 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 1 % de sílica gel.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

REGISTRO DE DEFORMACIONES DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON 2% DE SÍLICA GEL

NORMA ASTM C-469-2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag **FECHA:** -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Tabla 59

Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 2% de sílica gel.

Cilindro Nº	32	Área (mm ²):	18050.46
Nº de Muestra	8	Carga de Rotura (T):	61.709
Fecha de Ensayo:	09/08/2016	Altura (mm):	306
Edad:	28 días		
Díametro (mm):	151.6	Norma:	ASTM C-496-94
Apreciación:	0,001 mm		

Cantidad de Sílica Gel 2%

Nº	Carga (T)	Deformación (0,0001 µg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
0	0.411	0	0.000	2.271	0.223	0.00000
1	2.013	5	0.013	11.123	1.091	0.00004
2	3.351	10	0.025	18.516	1.816	0.00008
3	5.452	15	0.038	30.125	2.954	0.00012
4	7.198	20	0.051	39.772	3.900	0.00017
5	8.997	25	0.064	49.712	4.875	0.00021
6	10.414	30	0.076	57.542	5.643	0.00025
7	12.078	35	0.089	66.736	6.545	0.00029
8	13.450	40	0.102	74.317	7.288	0.00033
9	15.032	45	0.114	83.058	8.145	0.00037
10	16.392	50	0.127	90.573	8.882	0.00042
11	19.220	60	0.152	106.199	10.415	0.00050
12	22.060	70	0.178	121.891	11.953	0.00058
13	24.554	80	0.203	135.672	13.305	0.00066
14	27.124	90	0.229	149.872	14.697	0.00075

Esfuerzo (MPa) Def. Unitaria (mm/mm)

Mín	1.24	0.00005
Máx	13.410	0.00067

Módulo de Elasticidad experimental	
Ec	19620.08323 Mpa

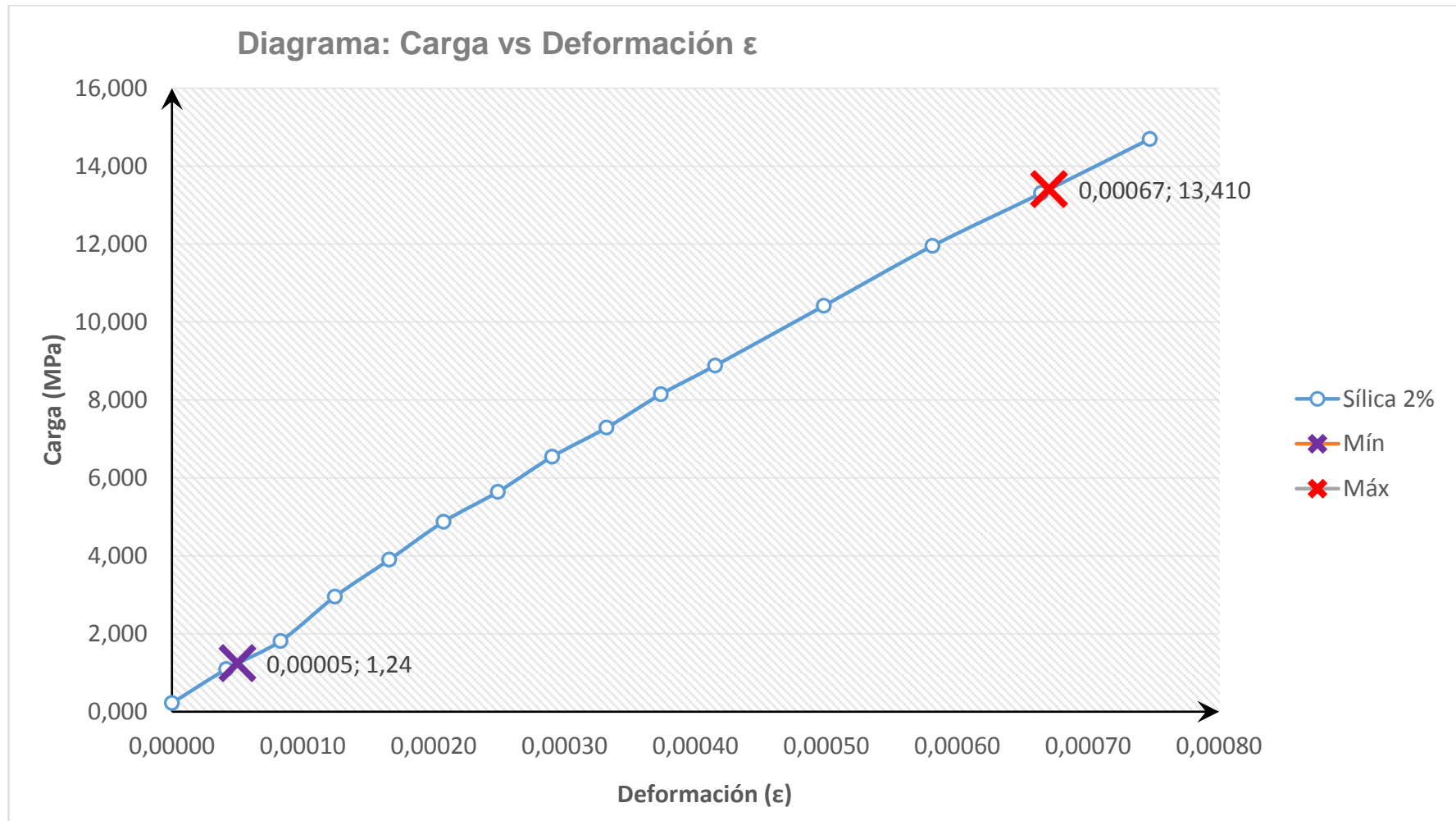


Figura 68 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 2 % de sílica gel.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

REGISTRO DE DEFORMACIONES DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON 3% DE SÍLICA GEL

NORMA ASTM C-469-2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag **FECHA:** -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Tabla 60

Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 3% de sílica gel.

Cilindro Nº	40	Área (mm ²):	18050.46
Nº de Muestra	8	Carga de Rotura (T):	75.421
Fecha de Ensayo:	23/08/2016	Altura (mm):	307
Edad:	28 días		
Dímetro (mm):	151.6	Norma:	ASTM C-496-94
Apreciación:	0,001 mm		

Cantidad de Sílica Gel 3%							
Nº	Carga (T)	Deformación (0,0001 plg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)	
0	0.417	0	0.000	2.304	0.226	0.00000	
1	2.540	5	0.013	14.035	1.376	0.00004	
2	4.220	10	0.025	23.317	2.287	0.00008	
3	6.080	15	0.038	33.595	3.295	0.00012	
4	7.680	20	0.051	42.435	4.161	0.00017	
5	9.115	25	0.064	50.364	4.939	0.00021	
6	10.950	30	0.076	60.504	5.933	0.00025	
7	12.615	35	0.089	69.703	6.836	0.00029	
8	14.230	40	0.102	78.627	7.711	0.00033	
9	15.672	45	0.114	86.595	8.492	0.00037	
10	17.230	50	0.127	95.203	9.336	0.00041	
11	20.162	60	0.152	111.404	10.925	0.00050	
12	22.990	70	0.178	127.030	12.457	0.00058	
13	25.670	80	0.203	141.838	13.910	0.00066	
14	28.015	90	0.229	154.795	15.180	0.00074	
15	30.440	100	0.254	168.194	16.494	0.00083	
16	36.590	125	0.318	202.176	19.827	0.00103	

	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
Mín	1.57	0.00005
Máx	16.390	0.00082

Módulo de Elasticidad experimental	
Ec	19231.57351 Mpa

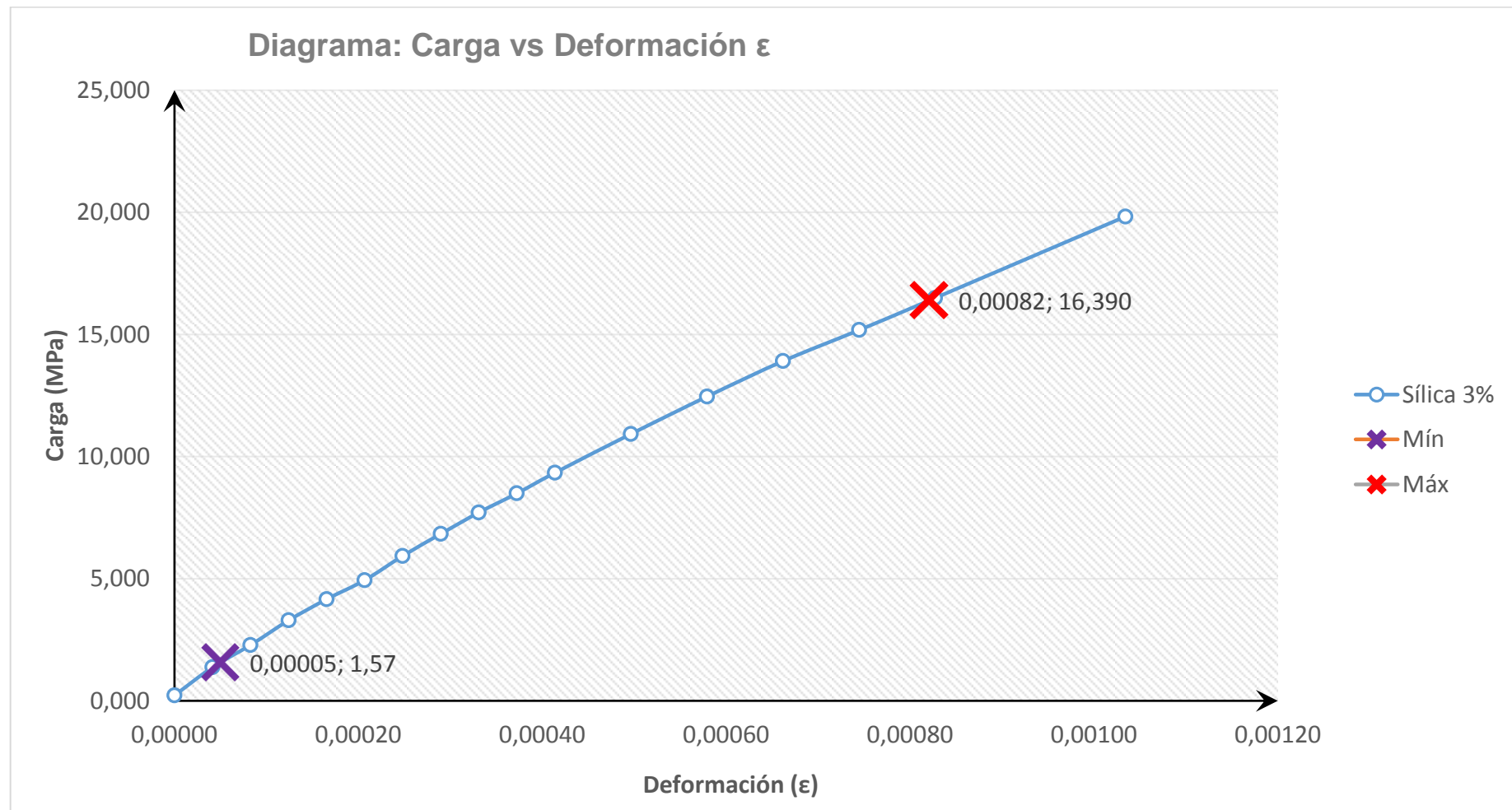


Figura 69 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 3 % de sílica gel.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

REGISTRO DE DEFORMACIONES DE CILINDROS DE HORMIGÓN CON 4% DE SÍLICA GEL

NORMA ASTM C-469-2010

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag **FECHA:** -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Tabla 61

Tabla de esfuerzo Vs deformación específica para Hormigón con 4% de sílica gel.

Cilindro Nº	48	Área (mm ²):	18193.62
Nº de Muestra	8	Carga de Rotura (T):	71.800
Fecha de Ensayo:	23/08/2016	Altura (mm):	305
Edad:	28 días	Norma:	ASTM C-496-94
Díametro (mm):	152.2		
Apreciación:	0,001 mm		

Cantidad de Sílica Gel 4%

Nº	Carga (T)	Deformación (0,0001 plg)	Deformación (mm)	Esfuerzo (kg/cm ²)	Esfuerzo (MPa)	Def. Unitaria (mm/mm)
0	0.417	0	0.000	2.304	0.226	0.00000
1	2.340	5	0.013	12.930	1.268	0.00004
2	4.350	10	0.025	24.036	2.357	0.00008
3	6.698	15	0.038	37.009	3.629	0.00012
4	8.340	20	0.051	46.082	4.519	0.00017
5	10.162	25	0.064	56.149	5.506	0.00021
6	11.625	30	0.076	64.233	6.299	0.00025
7	13.347	35	0.089	73.748	7.232	0.00029
8	14.710	40	0.102	81.279	7.971	0.00033
9	16.250	45	0.114	89.788	8.805	0.00037
10	17.880	50	0.127	98.795	9.688	0.00042
11	20.715	60	0.152	114.459	11.225	0.00050
12	23.430	70	0.178	129.461	12.696	0.00058
13	26.132	80	0.203	144.391	14.160	0.00067
14	28.890	90	0.229	159.630	15.654	0.00075
15	31.450	100	0.254	173.775	17.042	0.00083

Esfuerzo (MPa) Def. Unitaria (mm/mm)

Mín	1.49	0.00005
Máx	15.481	0.00074

Módulo de Elasticidad experimental

E _c	20286.21979	Mpa
----------------	-------------	-----

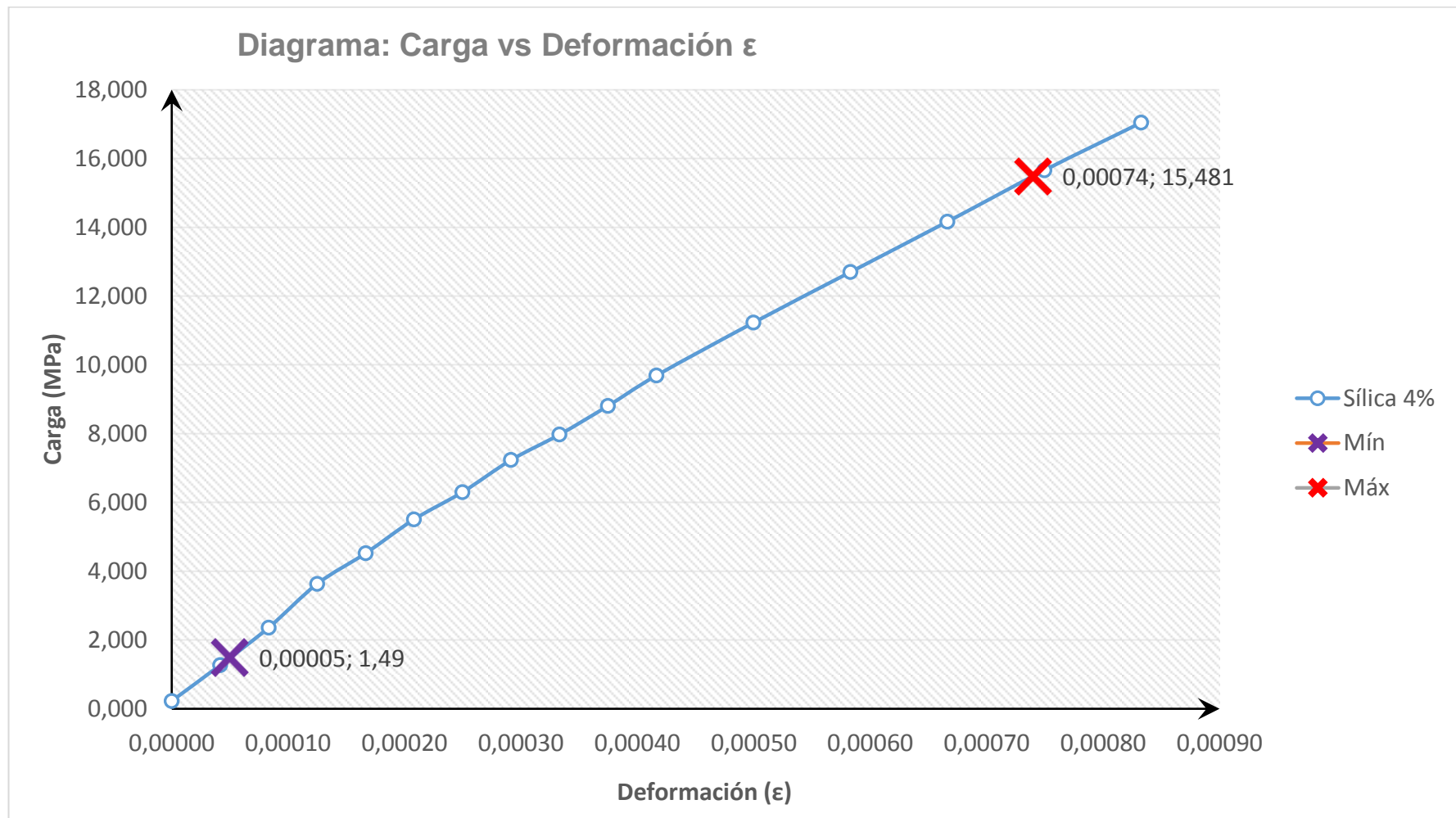


Figura 70 Grafico Carga Vs Deformación para el hormigón con 3 % de sílica gel

5.5.2. Determinación del módulo de elasticidad del hormigón, propuesta A.C.I.

Posterior a obtener la resistencia característica del hormigón diseñado, se procedió a determinar teóricamente el módulo de elasticidad del hormigón, para esto se utilizó la propuesta establecida por el A.C.I. 318 del año 2014.

En el comité 318 del American Concrete Institute, explícitamente en el numeral 8.5.1, se expresó lo siguiente:

“El módulo de elasticidad, E_c , para el hormigón se toma: $W_c^{1.5} 0.043 \overline{f'_c}$ (MPa), para valores de W_c comprendidos entre 1440 y 2560 Kg/m^3 . Para hormigón de densidad normal, E_c se toma: $4700 \overline{f'_c}$ ”.

En la siguiente tabla se muestra los resultados obtenidos mediante la aplicación de la propuesta establecida por el A.C.I. y su comparación con los resultados obtenidos experimentalmente.

Tabla 62 Comparativa entre módulos de elasticidad obtenidos experimentalmente Vs la propuesta del A.C.I.

Hormigón con 0% de sílica gel		Hormigón con 0.5% de sílica gel		Hormigón con 1.0% de sílica gel	
Módulo de Elasticidad experimental		Módulo de Elasticidad experimental		Módulo de Elasticidad experimental	
Ec	20123.1442 Mpa	Ec	19492.4894 Mpa	Ec	19015.7299 Mpa
Módulo de Elasticidad ACI-318S_14		Módulo de Elasticidad ACI-318S_14		Módulo de Elasticidad ACI-318S_14	
Ec	26449.2211 Mpa	Ec	23237.8827 Mpa	Ec	26355.8873 Mpa
Hormigón con 2.0% de sílica gel		Hormigón con 3.0% de sílica gel		Hormigón con 4.0% de sílica gel	
Módulo de Elasticidad experimental		Módulo de Elasticidad experimental		Módulo de Elasticidad experimental	
Ec	19620.0832 Mpa	Ec	19231.5735 Mpa	Ec	20286.2198 Mpa
Módulo de Elasticidad ACI-318S_14		Módulo de Elasticidad ACI-318S_14		Módulo de Elasticidad ACI-318S_14	
Ec	27210.5837 Mpa	Ec	29998.3196 Mpa	Ec	29643.8689 Mpa

En los resultados se observa que la propuesta A.C.I. presenta valores del módulo de elasticidad mayores a los obtenidos experimentalmente, el motivo de esto es que el A.C.I, obtiene su propuesta teórica en base a materiales obtenidos de

Estados Unidos. (Asmal Iturralde, Ocaña Borja, Perdomo Velásquez, & Pérez Casco, 2012)

Registro Fotográfico del Ensayo



Figura 71 Registro fotográfico del procedimiento para medir deformaciones en el hormigón

5.6. Resistencia a la flexión a edades de 7, 14, 21 y 28 días

En el ensayo de resistencia a la flexión, es importante tomar en consideración la correcta medición de las dimensiones de la viga a ensayarse, siguiendo el procedimiento descrito en NTE INEN 2554:2011, para el ensayo se empleó la máquina de flexión para vigas de hormigón la cual posee un deformímetro, la carga suministrada a la maquina se la realizo de manera manual, por tal motivo la recomendación es generar la carga de rotura de manera controlada evitando la aparición de resultados engañosos.



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS.

NORMA INEN 2554:2011

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 0%

Tabla 63

Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 0%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	% Sílica	Dimensiones			Deformación	Carga N	R= Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
					Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)				
1	30-jun-16	07-jul-16	7	0.00%	534.0	155.0	154.0	190.0	20687.0	3.005	30.64
2	30-jun-16	14-jul-16	14	0.00%	530.0	156.0	155.0	273.0	29724.0	4.203	42.86
3	30-jun-16	21-jul-16	21	0.00%	533.0	155.0	153.0	315.0	34296.9	5.038	51.37
4	30-jun-16	28-jul-16	28	0.00%	535.0	152.0	152.0	310.0	33752.5	5.142	52.43



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS.

NORMA INEN 2554:2011

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 0.5%

Tabla 64

Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 0.5%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	% Sílica	Dimensiones			Deformación	Carga N	R= Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
					Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)				
5	30-jun-16	07-jul-16	7	0.50%	535.0	154.0	155.0	215.0	23409.0	3.385	34.52
6	30-jun-16	14-jul-16	14	0.50%	534.0	157.0	152.0	278.0	30268.4	4.456	45.44
7	30-jun-16	21-jul-16	21	0.50%	533.0	154.0	154.0	300.0	32663.7	4.767	48.61
8	30-jun-16	28-jul-16	28	0.50%	535.0	155.0	153.0	325.0	35385.7	5.218	53.20



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS.

NORMA INEN 2554:2011

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 1 %

Tabla 65

Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 1%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	% Sílica	Dimensiones			Deformación	Carga N	R= Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
					Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)				
9	12-jul-16	19-jul-16	7	1.00%	535.0	156.0	155.0	285.0	31030.5	4.430	45.17
10	12-jul-16	26-jul-16	14	1.00%	535.0	155.0	157.0	275.0	29941.8	4.193	42.75
11	12-jul-16	02-ago-16	21	1.00%	533.0	155.0	156.0	266.0	28961.8	4.092	41.73
12	12-jul-16	09-ago-16	28	1.00%	535.0	155.0	155.0	291.0	31683.8	4.552	46.42



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS.

NORMA INEN 2554:2011

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 2 %

Tabla 66

Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 2%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	% Sílica	Dimensiones			Deformación	Carga N	R= Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
					Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)				
13	12-jul-16	19-jul-16	7	2.00%	535.0	155.0	157.0	255.0	27764.2	3.888	39.64
14	12-jul-16	26-jul-16	14	2.00%	535.0	157.0	157.0	250.0	27219.8	3.763	38.37
15	12-jul-16	02-ago-16	21	2.00%	532.0	169.0	155.0	237.0	25804.3	3.381	34.48
16	12-jul-16	09-ago-16	28	2.00%	532.0	157.0	156.0	286.0	31139.4	4.336	44.21



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS.

NORMA INEN 2554:2011

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 3 %

Tabla 67

Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 3%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	% Sílica	Dimensiones			Deformación	Carga N	R= Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
					Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)				
17	26-jul-16	02-ago-16	7	3.00%	534.0	156.0	155.0	198.0	21558.1	3.072	31.32
18	26-jul-16	09-ago-16	14	3.00%	533.0	156.0	155.0	255.0	27764.2	3.948	40.26
19	26-jul-16	16-ago-16	21	3.00%	532.0	157.0	152.0	328.0	35712.3	5.238	53.41
20	26-jul-16	23-ago-16	28	3.00%	530.0	157.0	155.0	287.0	31248.3	4.391	44.77



Laboratorio de Ensayo de Materiales

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL HORMIGÓN UTILIZANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS.

NORMA INEN 2554:2011

ORIGEN: Mina de Pifo Holcim y Píntag

FECHA: -----

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice

ENSAYÓ: Rugel y Zamora

Porcentaje de Sílica Gel 4 %

Tabla 68

Registro de resultados de vigas ensayadas con sílica gel al 4%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días	% Sílica	Dimensiones			Deformación	Carga N	R= Módulo de rotura (Mpa)	Módulo de rotura (kg/cm ²)
					Largo (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)				
21	26-jul-16	02-ago-16	7	4.00%	535.0	157.0	154.0	206.0	22429.1	3.223	32.86
22	26-jul-16	09-ago-16	14	4.00%	533.0	153.0	154.0	237.0	25804.3	3.790	38.65
23	26-jul-16	16-ago-16	21	4.00%	533.0	155.0	155.0	295.0	32119.3	4.597	46.88
24	26-jul-16	23-ago-16	28	4.00%	533.0	156.0	153.0	280.0	30486.1	4.450	45.37

Esfuerzo del Hormigón a flexión en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 69

Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 0%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días de Curado	% Sílica	Módulo de rotura (kg/cm2)	% de diferencia (módulo de rotura vs inicial)
1	30-jun-16	07-jul-16	7	0%	30.64	
2	30-jun-16	14-jul-16	14	0%	42.86	
3	30-jun-16	21-jul-16	21	0%	51.37	
4	30-jun-16	28-jul-16	28	0%	52.43	

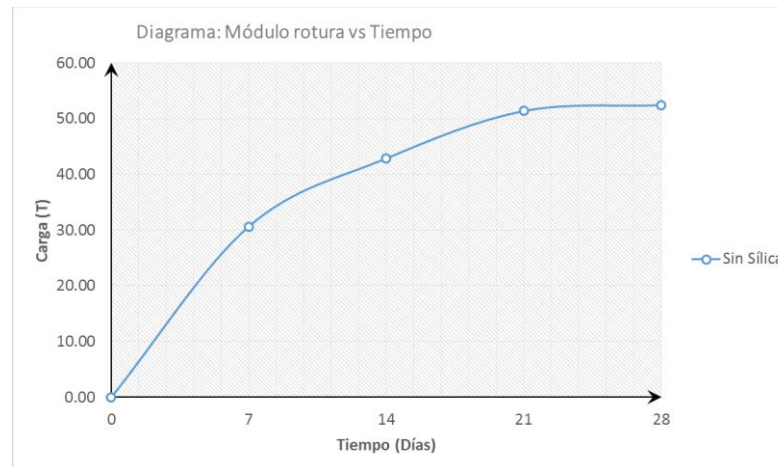


Figura 72 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0%

Esfuerzo del Hormigón a flexión en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 70

Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 0.5%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días de Curado	% Sílica	Módulo de rotura (kg/cm2)	% de diferencia (módulo de rotura vs inicial)
5	30-jun-16	07-jul-16	7	0.5%	34.52	1.13
6	30-jun-16	14-jul-16	14	0.50%	45.44	1.06
7	30-jun-16	21-jul-16	21	0.50%	48.61	0.95
8	30-jun-16	28-jul-16	28	0.50%	53.20	1.01

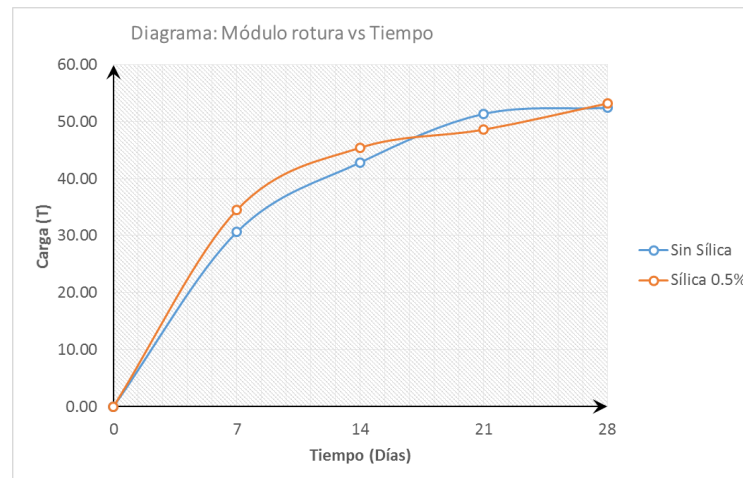


Figura 73 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 0.5%

Esfuerzo del Hormigón a flexión en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 71

Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 1%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días de Curado	% Sílica	Módulo de rotura (kg/cm2)	% de diferencia (módulo de rotura vs inicial)
9	12-jul-16	19-jul-16	7	1%	45.17	1.47
10	12-jul-16	26-jul-16	14	1%	42.75	1.00
11	12-jul-16	02-ago.-16	21	1%	41.73	0.81
12	12-jul-16	09-ago.-16	28	1%	46.42	0.89

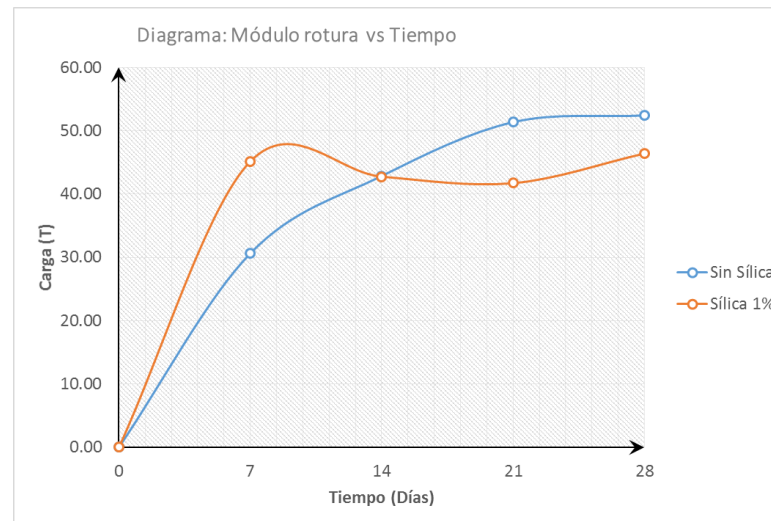


Figura 74 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 1%

Esfuerzo del Hormigón a flexión en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 72

Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 2%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días de Curado	% Sílica	Módulo de rotura (kg/cm2)	% de diferencia (módulo de rotura vs inicial)
13	12-jul-16	19-jul-16	7	2%	39.64	1.29
14	12-jul-16	26-jul-16	14	2%	38.37	0.90
15	12-jul-16	02-ago.-16	21	2%	34.48	0.67
16	12-jul-16	09-ago.-16	28	2%	44.21	0.84

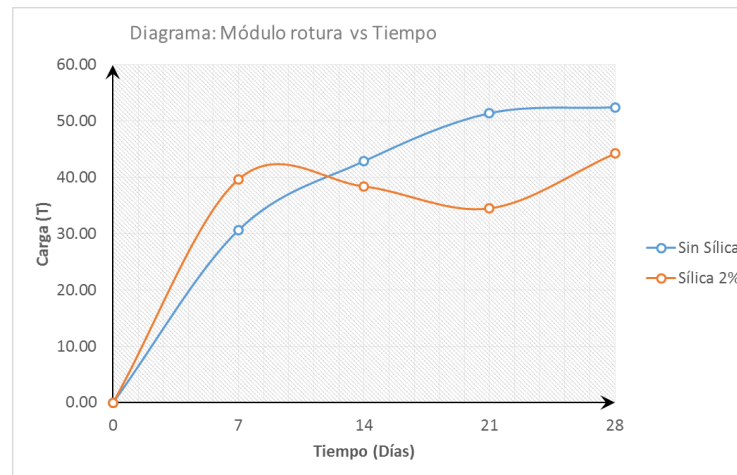


Figura 75 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 2%

Esfuerzo del Hormigón a flexión en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 73

Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 3%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días de Curado	% Sílica	Módulo de rotura (kg/cm2)	% de diferencia (módulo de rotura vs inicial)
17	26-jul-16	02-ago.-16	7	3%	31.32	1.02
18	26-jul-16	09-ago.-16	14	3%	40.26	0.94
19	26-jul-16	16-ago.-16	21	3%	53.41	1.04
20	26-jul-16	23-ago.-16	28	3%	44.77	0.85

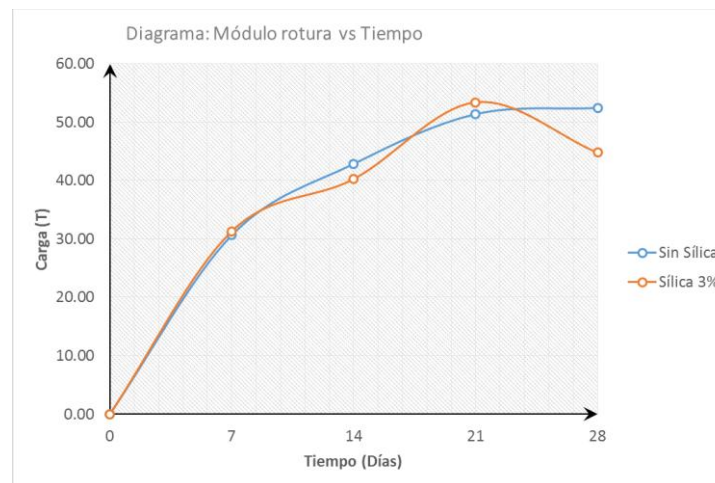


Figura 76 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 3%

Esfuerzo del Hormigón a flexión en función del tiempo, para 300 Kg/cm²

Tabla 74

Resumen de resistencias promedio de las vigas con sílica gel al 4%

N	Fecha de Fundición	Fecha de Rotura	Días de Curado	% Sílica	Módulo de rotura (kg/cm2)	% de diferencia (módulo de rotura vs inicial)
21	26-jul-16	02-ago.-16	7	4%	32.86	1.07
22	26-jul-16	09-ago.-16	14	4%	38.65	0.90
23	26-jul-16	16-ago.-16	21	4%	46.88	0.91
24	26-jul-16	23-ago.-16	28	4%	45.37	0.87

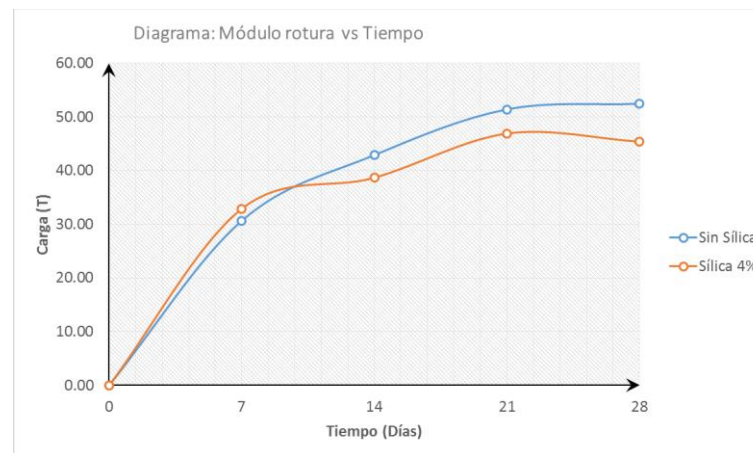
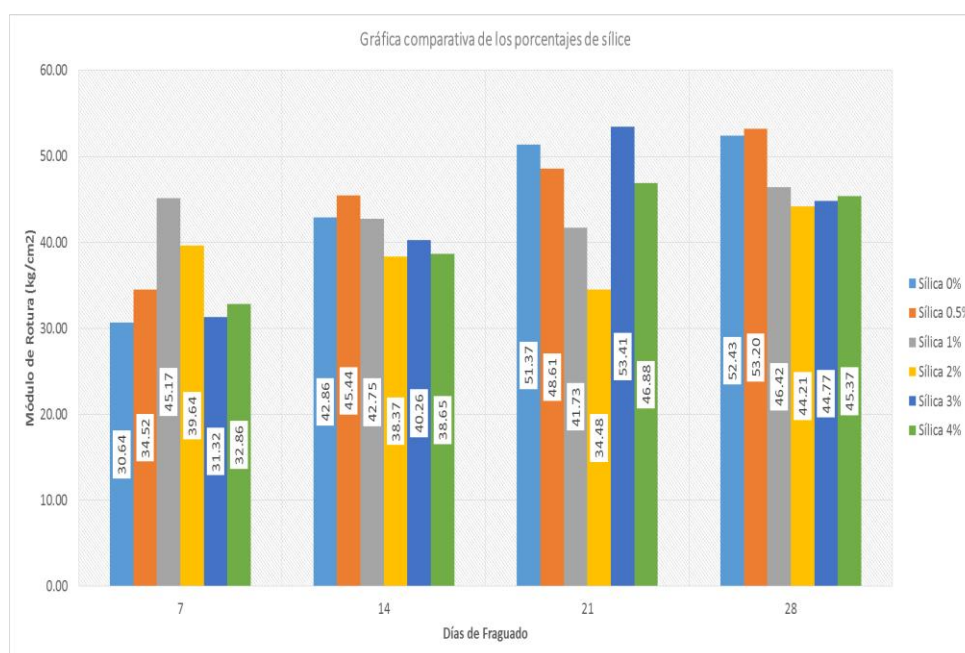


Figura 77 Gráfico módulo de rotura vs tiempo para sílica al 0% y 4%

Tabla 75*Diferencia porcentual de módulo de rotura para vigas.*

Diferencia porcentual de Módulo de Rotura						
Días	0% Sílica	0,5% Sílica	1% Sílica	2% Sílica	3% Sílica	4% Sílica
7	0.00	1.13	1.47	1.29	1.02	1.07
14	0.00	1.06	1.00	0.90	0.94	0.90
21	0.00	0.95	0.81	0.67	1.04	0.91
28	0.00	1.01	0.89	0.84	0.85	0.87

**Figura 78** Comparativa de valores para módulos de rotura en vigas a edades de 7, 14, 21 y 28 días.

En la figura 78 se denota, discrepancia en valores de módulo de rotura, pero se evidencia una tendencia de crecimiento la cual es favorable para los módulos de rotura en vigas de hormigón hidráulico.

Registro Fotográfico del Ensayo

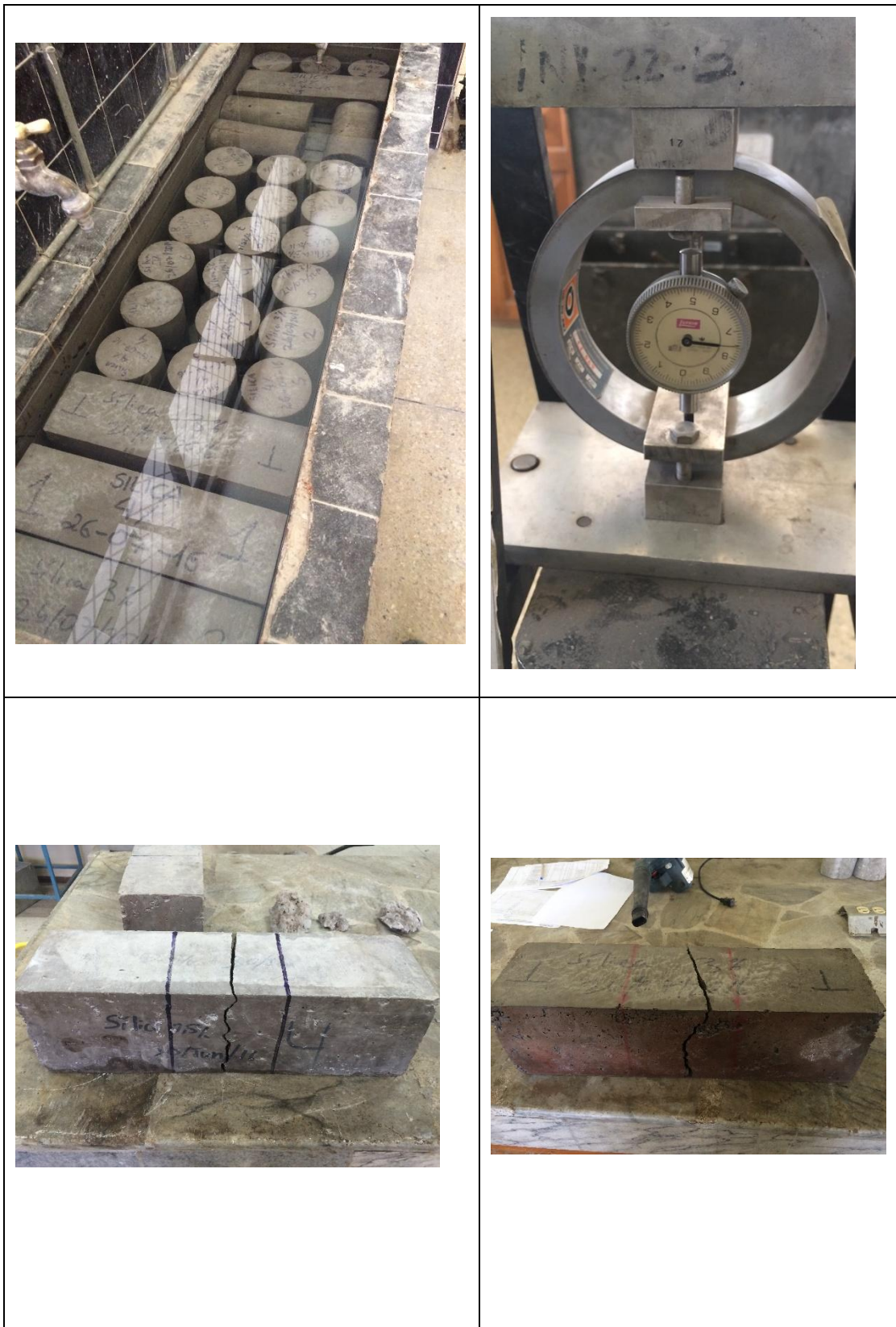


Figura 79 Registro fotográfico del procedimiento para el ensayo de flexión en vigas

5.7. Microscopia electrónica del gel de sílice o sílica gel

Para el estudio de la topografía y composición elemental de las muestras se utilizó el microscopio electrónico de barrido (SEM) TESCAN MIRA3, las muestras se secaron en la estufa por 48 horas y posteriormente fueron evaporadas con oro, con un espesor aproximado de 20 nm.

La composición química elemental de la superficie de las muestras indica que se determinó por medio de EDS mediante el software QUANTAX Esprit. Para las diferentes muestras examinadas, los análisis se realizaron en 20 diferentes puntos de la muestra seleccionados aleatoriamente.



Figura 80 Registro del procedimiento para el ensayo de microscopia electrónica



En las imágenes que se muestran a continuación se observara a diferentes tamaños (500, 100, 50, 10, 5 y 2 micrómetros “um”) de acercamiento del microscopio electrónico, la selección de estos tamaños fue recomendación del laboratorio de Microscopia de la Universidad de las Fuerzas Armadas, ya que previo análisis del gel de sílice, se determinó que las partículas de este se encontraban en el rango de 20 a 110 micras.

En los análisis de las muestras con el microscopio electrónico, se observan en las figuras 81 a la 86 la morfología del sílica gel, se determina a simple vista la forma granular de este gel el cual no tiene un carácter simétrico, el comportamiento se cree que se debió a que pasó por un proceso ortodoxo de molienda con equipo rudimentario, no proveyó una granulometría exacta del gel.

Las topografías muestran también la formación de cristales de cemento al reaccionar con el agua, tienen la forma de agujas entrelazadas, proporcionando un menor números de vacíos, el mismo que es llenado por el resto de agregados (arena y ripio) que conforman el hormigón.

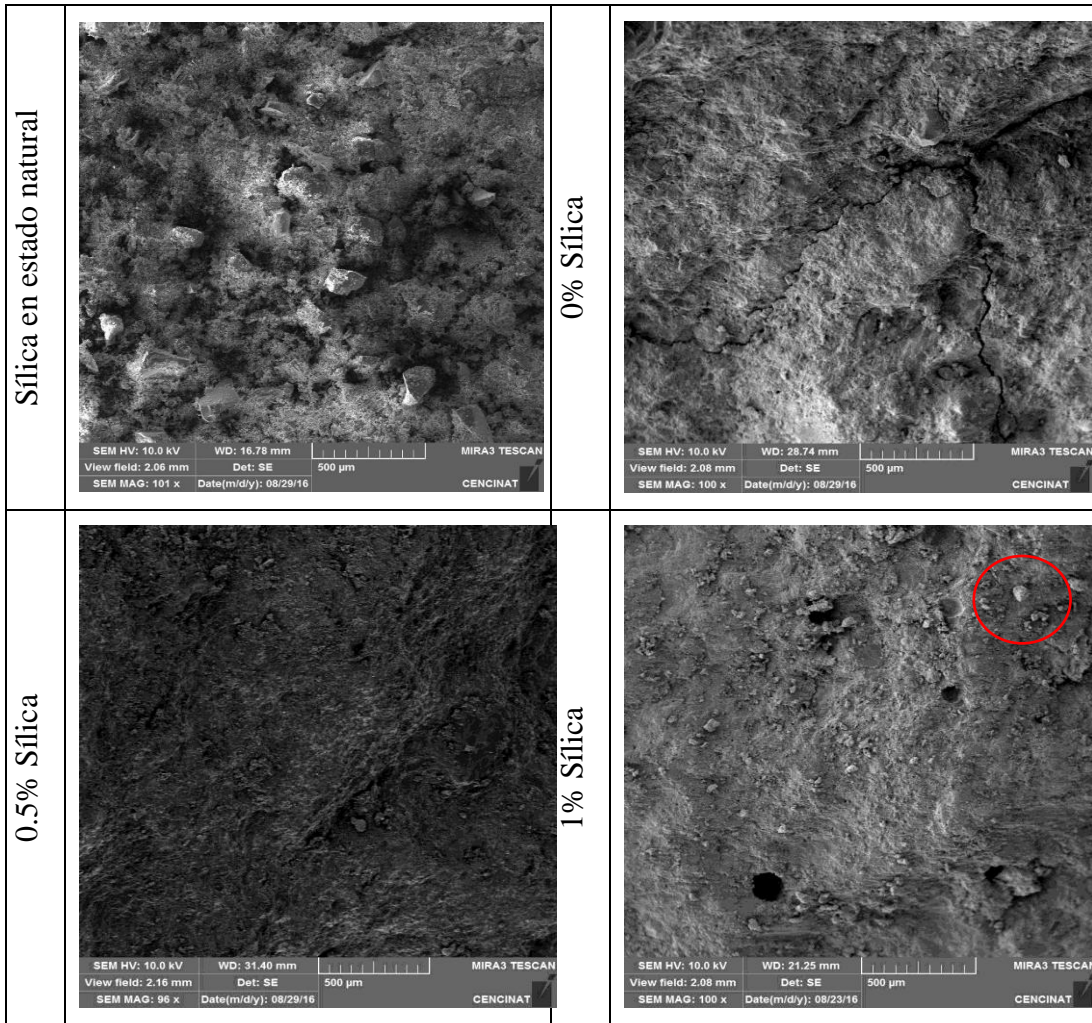
Los ensayos de difracción con rayos X “EDX” y la microscopia electrónica nos proporcionaron la siguiente información, el primer ensayo nos ayudó a conocer el comportamiento químico del sílica gel en estado natural y posterior a la molienda, indicando que el material es amorfo y no cristalino, el segundo ensayo proporcionó información visual en las topografías de la muestra e información estadística, no es una porción representativa del elemento en general, tal es el motivo que los resultados obtenidos no son fiables para representar un todo. A continuación, se muestran las imágenes en topografías del ensayo, en estas se detallará con la siguiente simbología:

Tabla 76 *Simbología para topografías obtenidas mediante el microscopio electrónico*

	Sílica gel o gel de sílice
	Cemento hidratado

En las imágenes 87 a la 93, detallan los resultados químicos mostrados en estadísticas de las muestras de hormigón haciendo hincapié en que estos resultados

no representan al todo, tal es el motivo que no se obtendrán concentraciones exactas de los elementos químicos que conforman el hormigón diseñado en esta investigación.



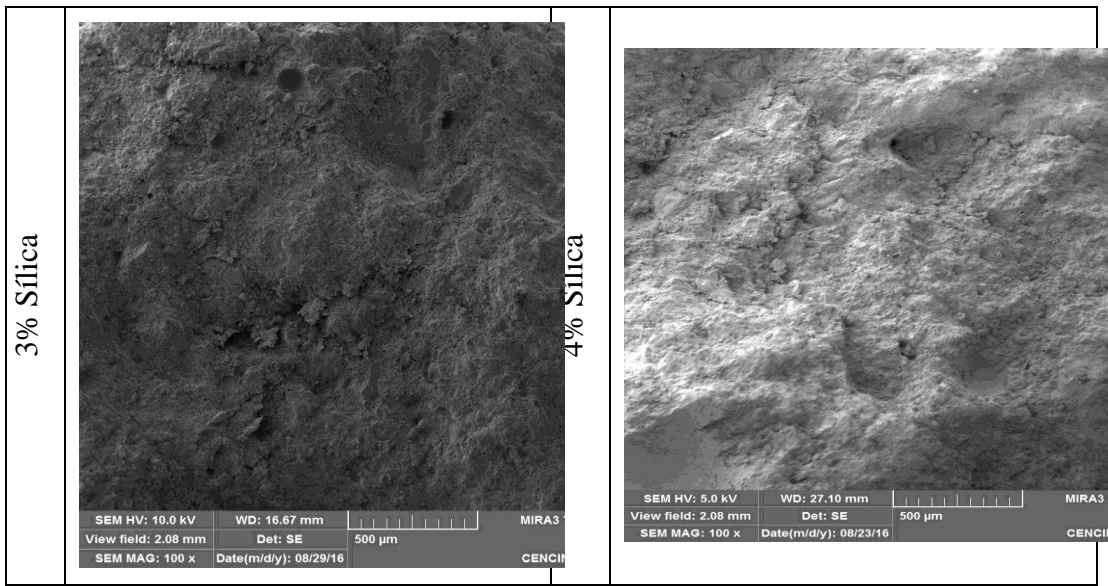
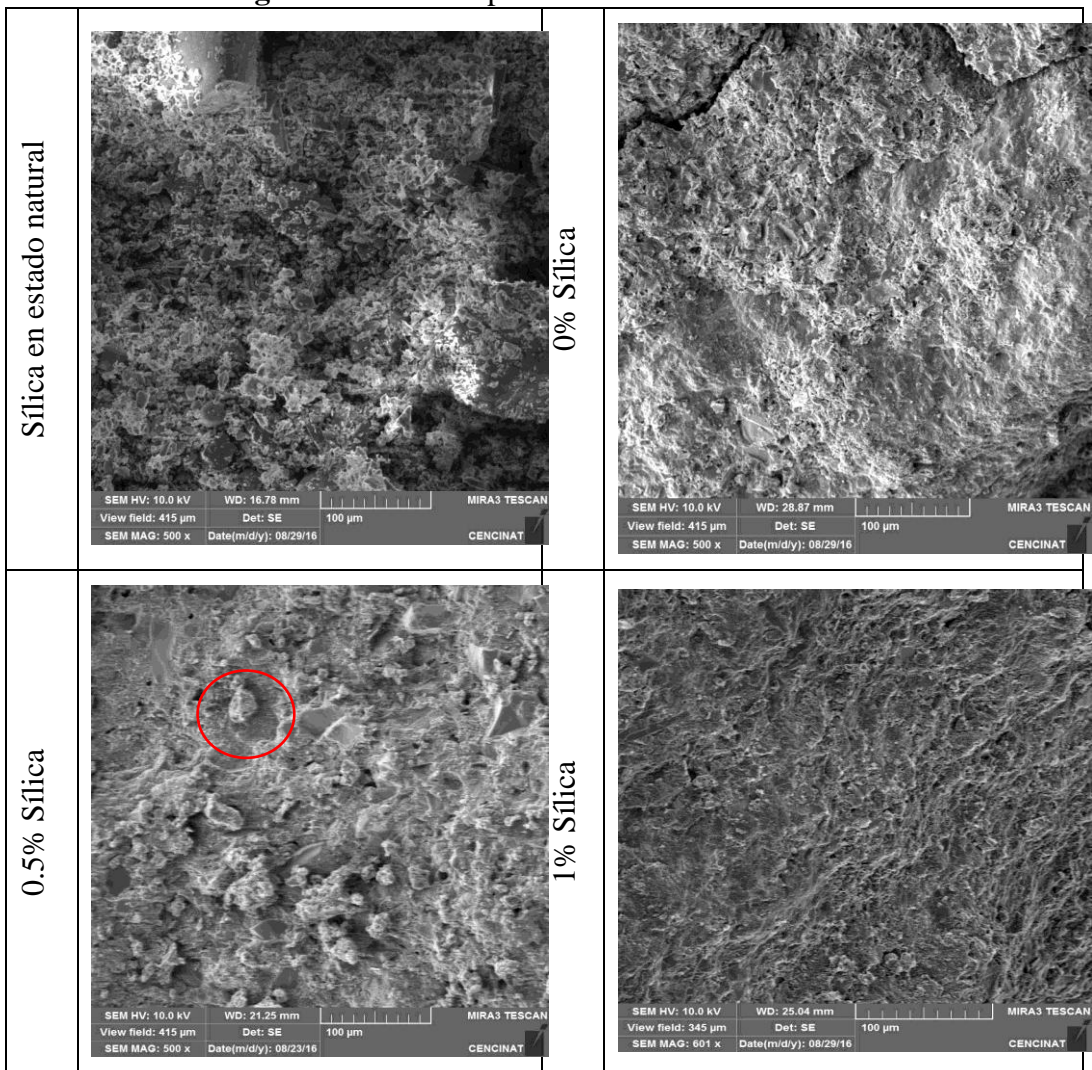


Figura 81 Microscopía con acercamiento de 500 µm.



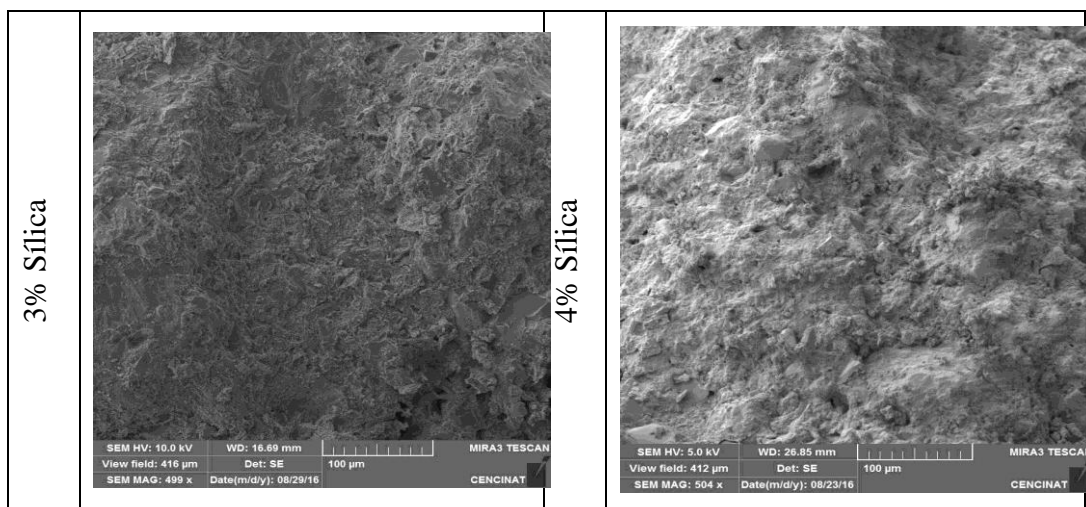
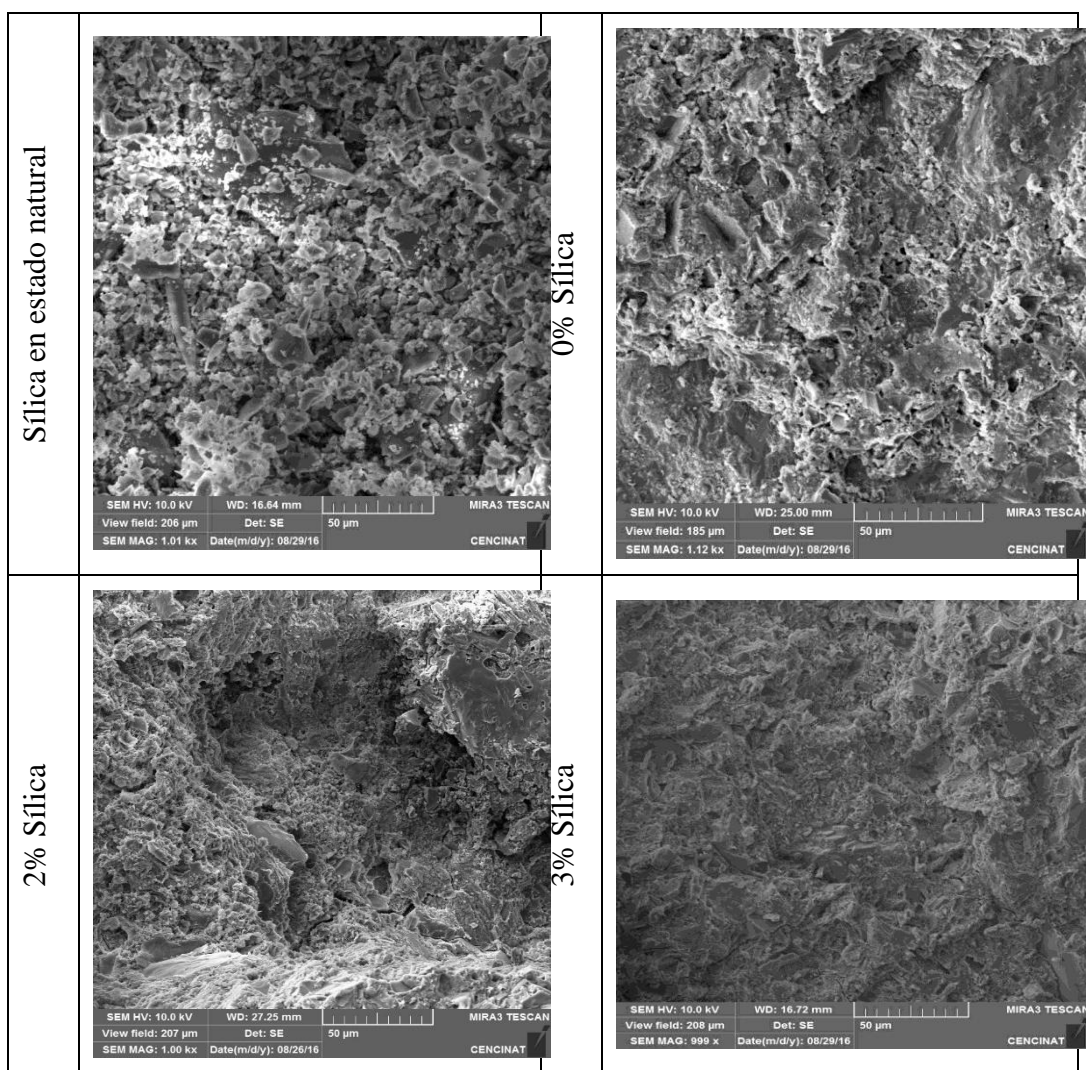


Figura 82 Microscopía con acercamiento de 100 um.



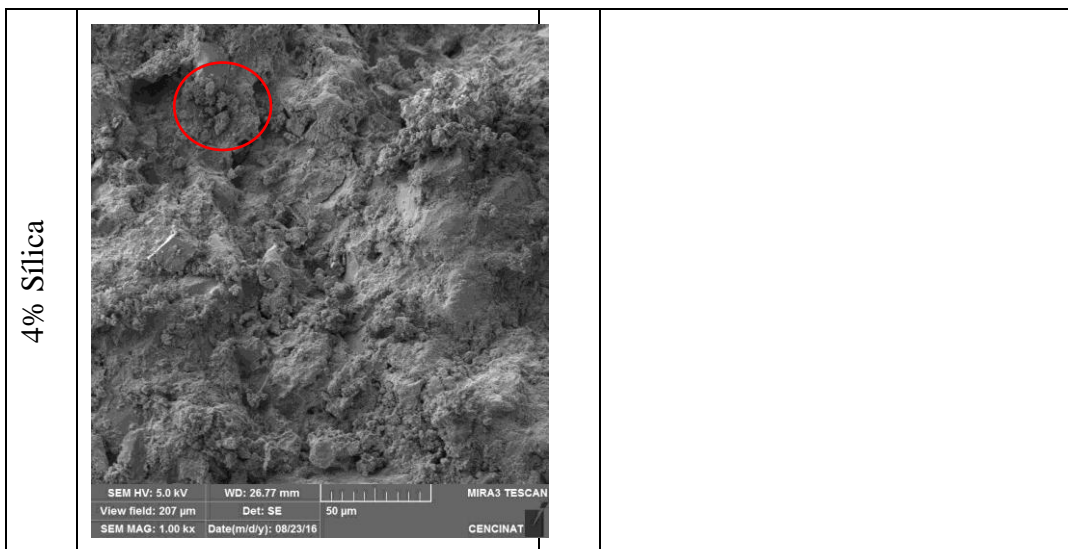
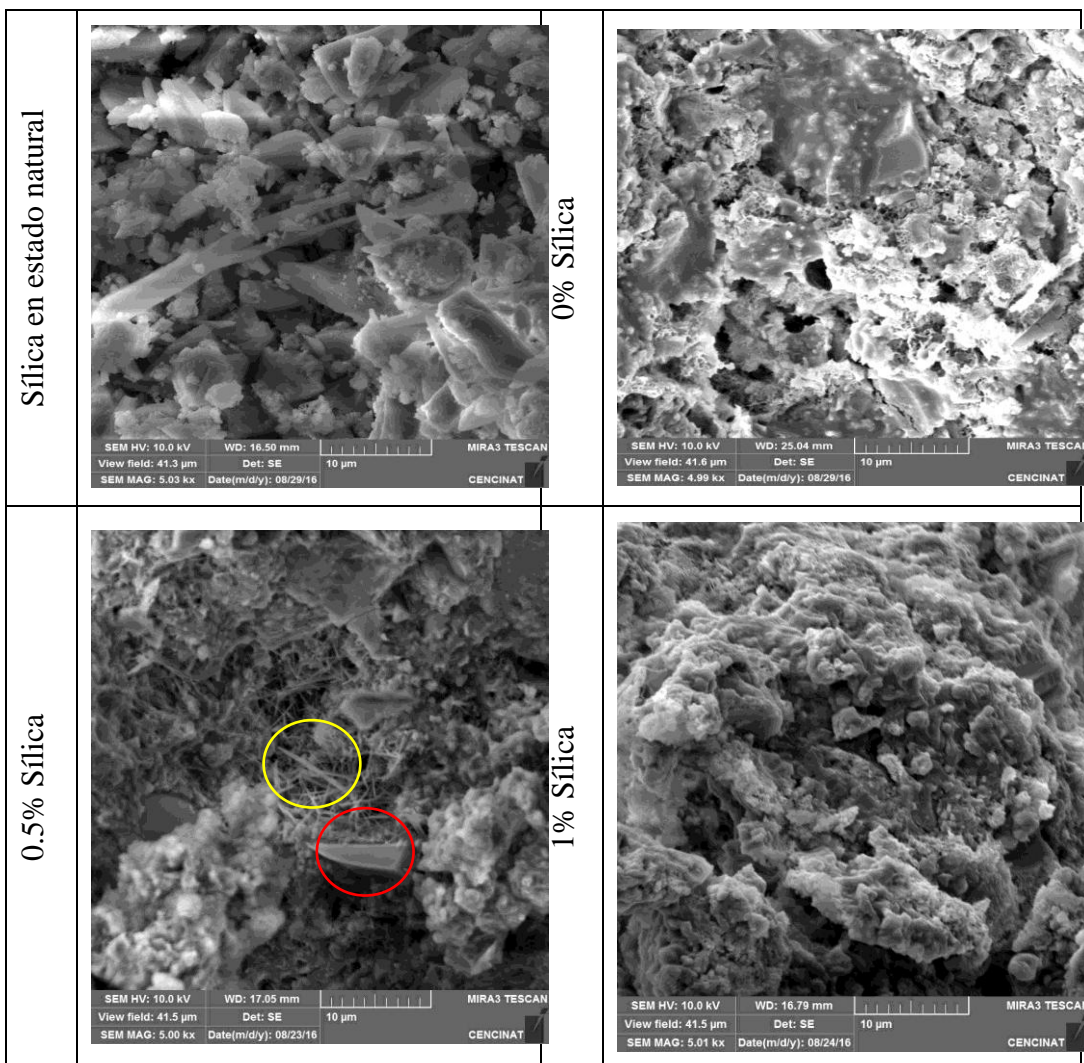


Figura 83 Microscopía con acercamiento de 50 µm.



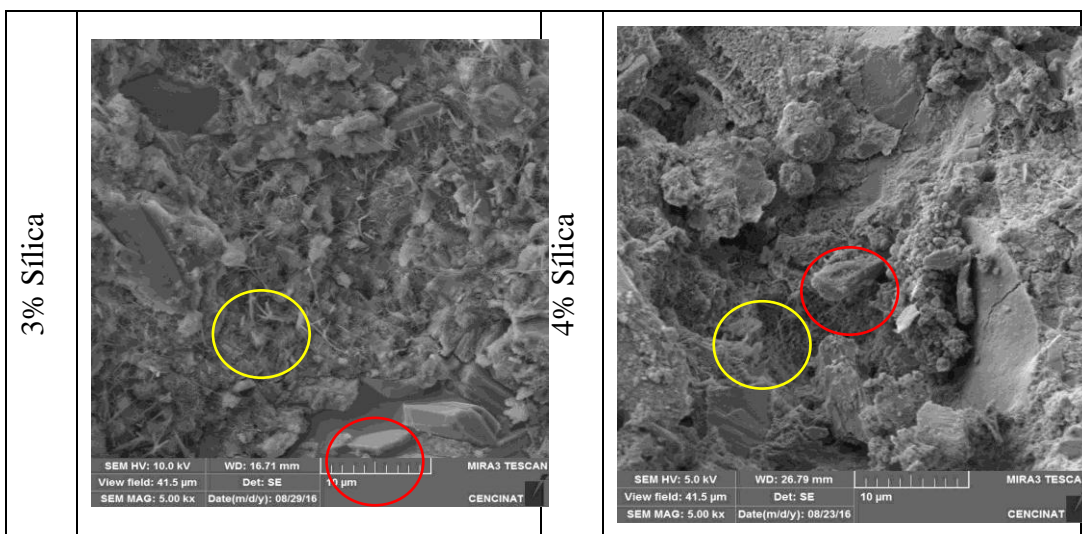
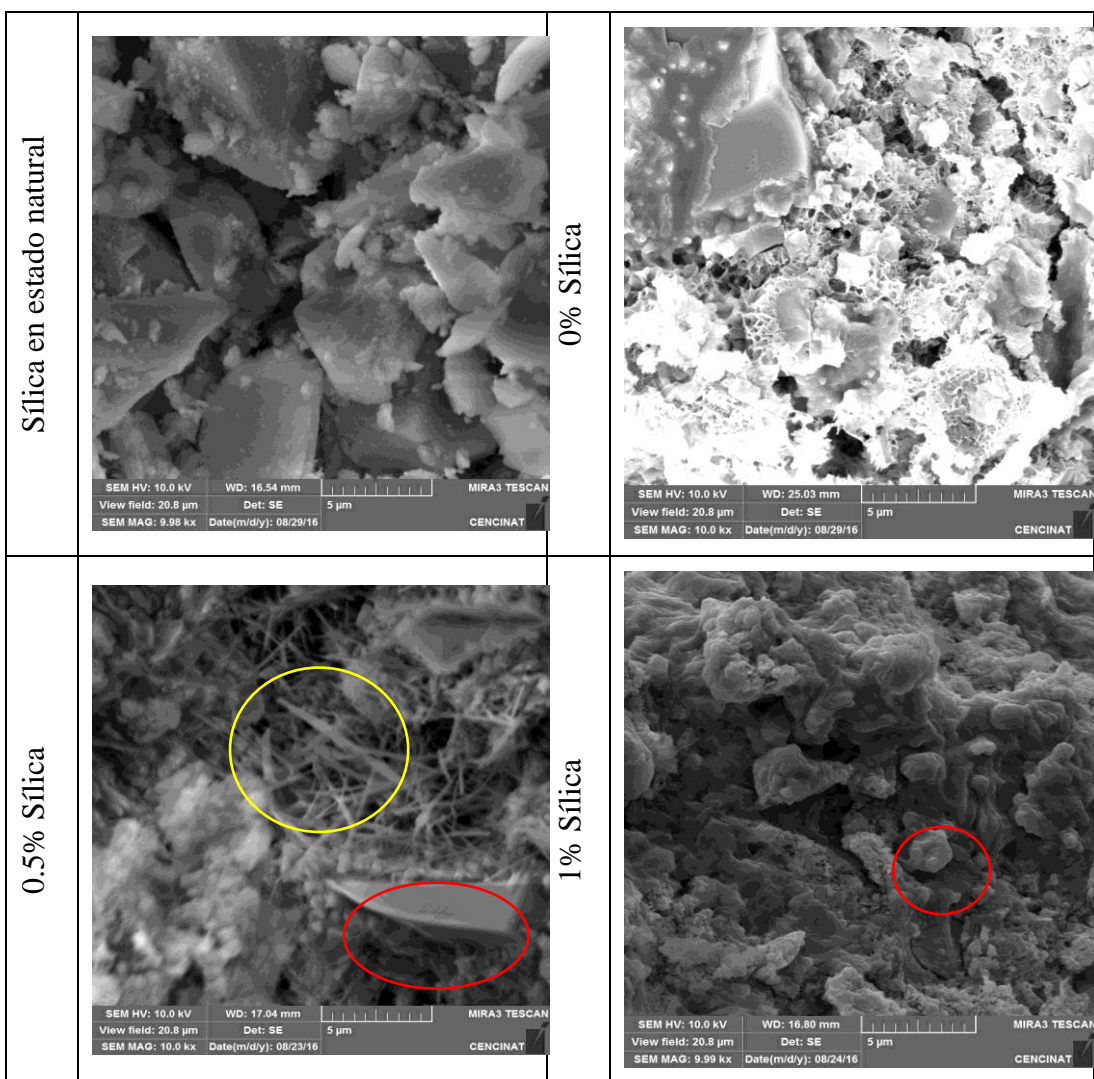


Figura 84 Microscopía con acercamiento de 10 µm.



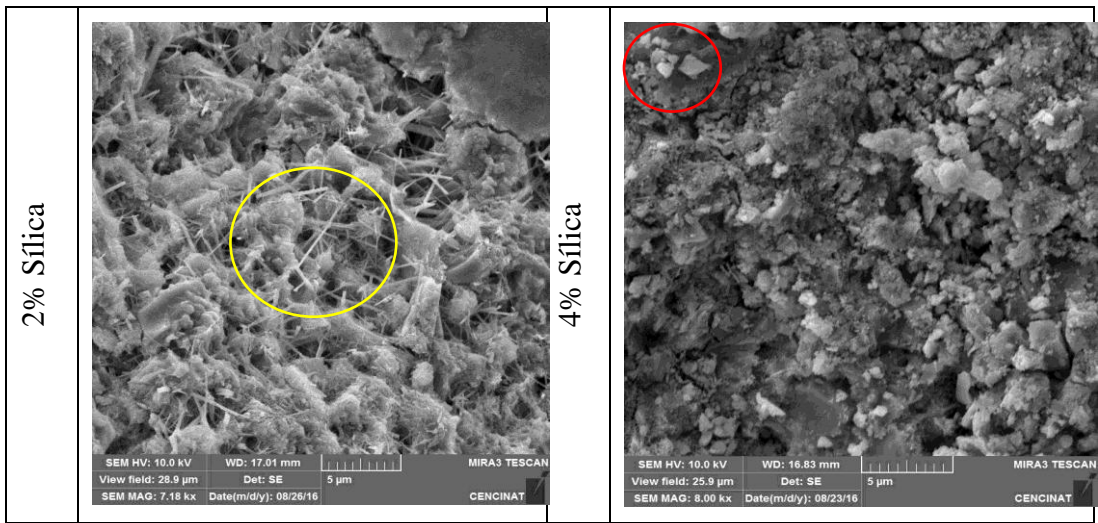
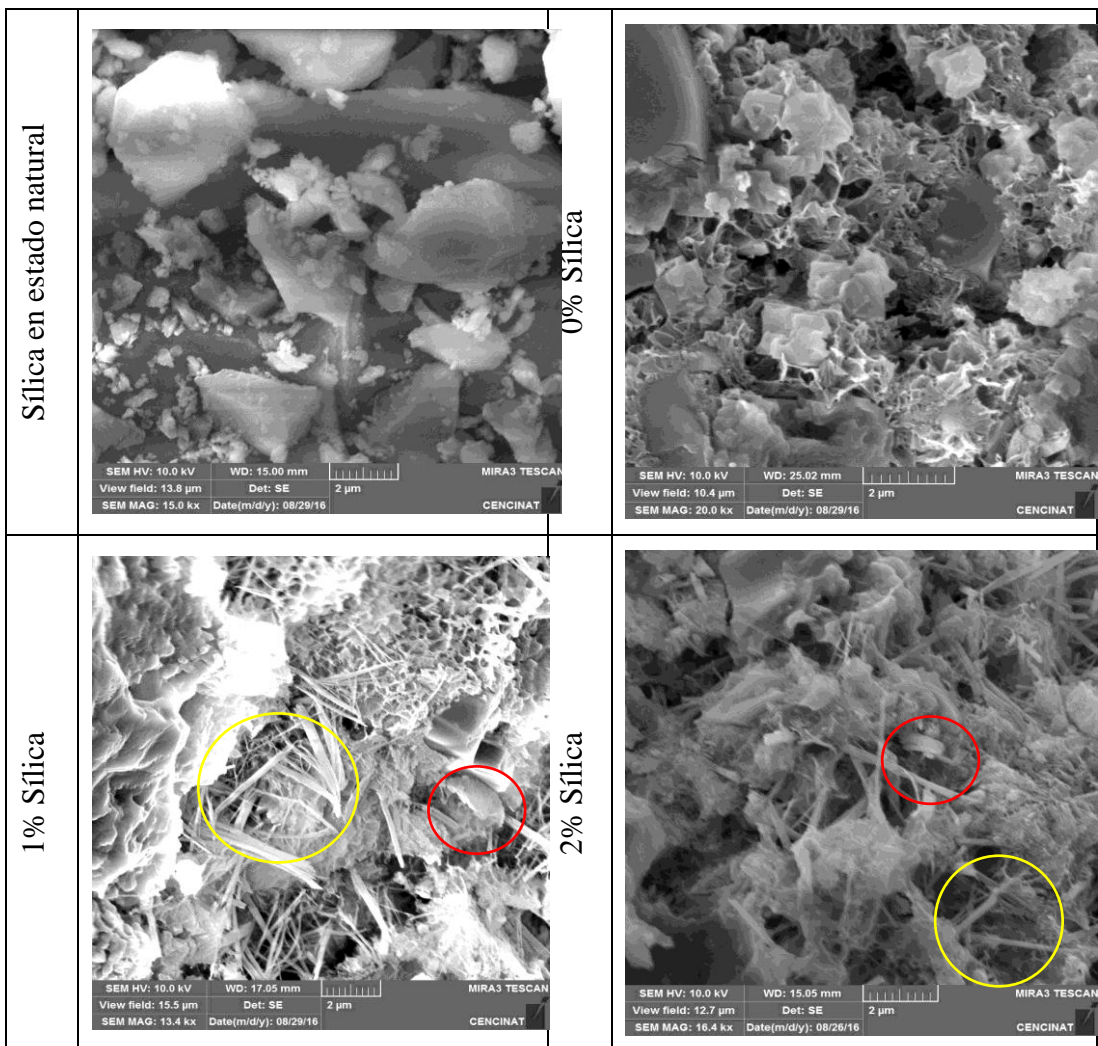


Figura 85 Microscopía con acercamiento de 5 µm.



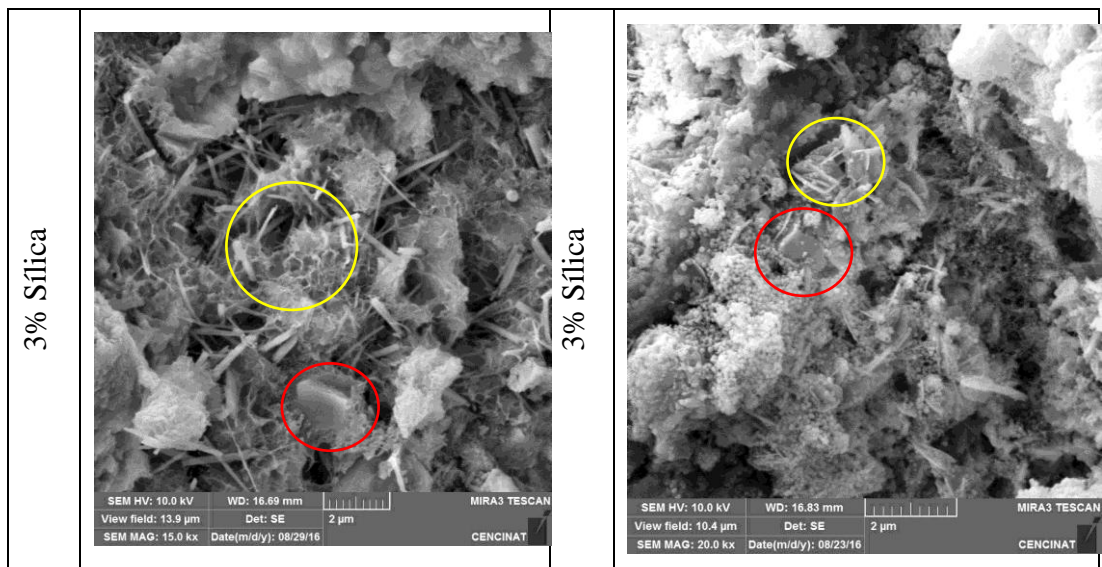


Figura 86 Microscopía con acercamiento de 5 μm .

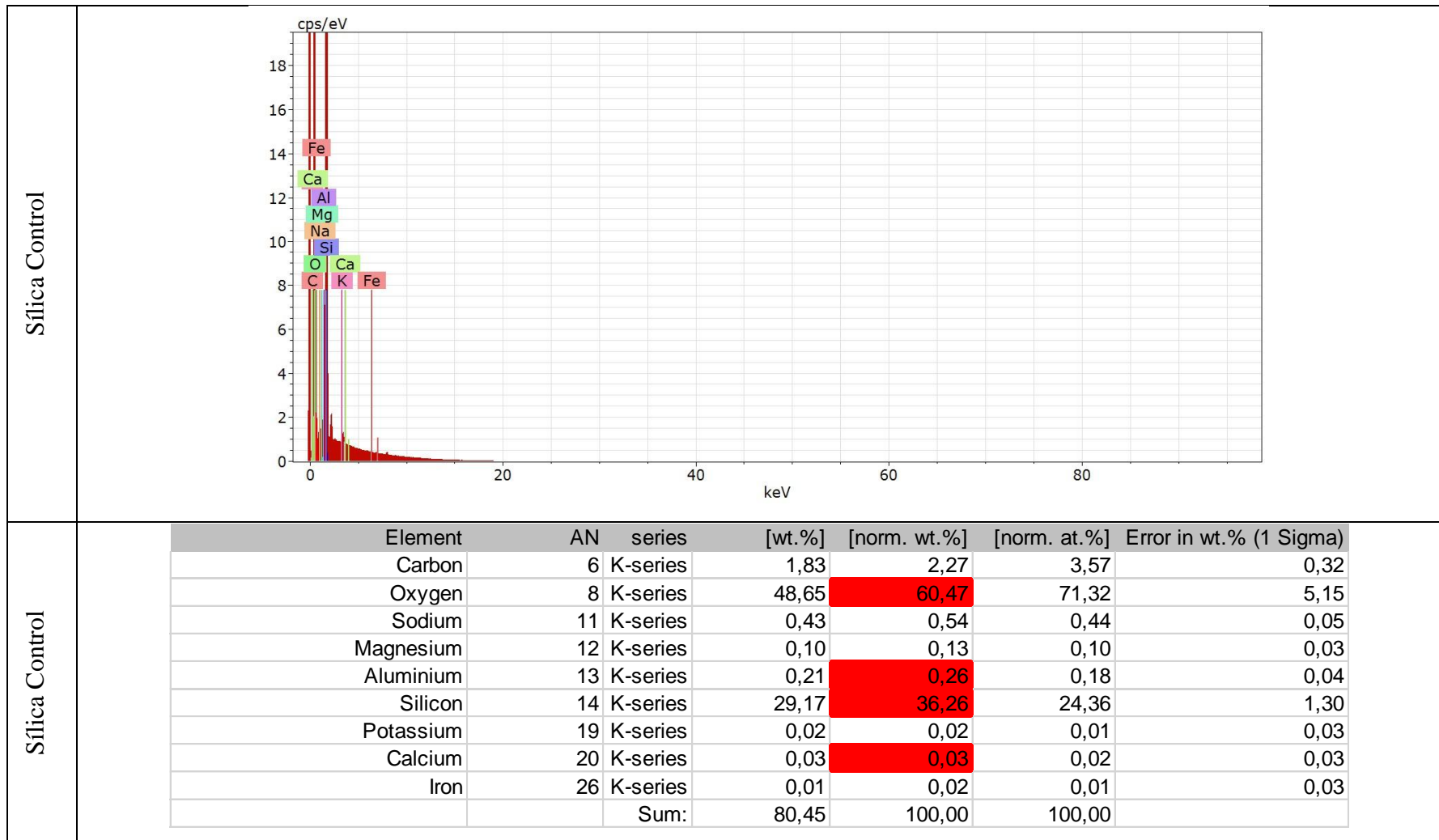


Figura 86 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de sílica gel triturada

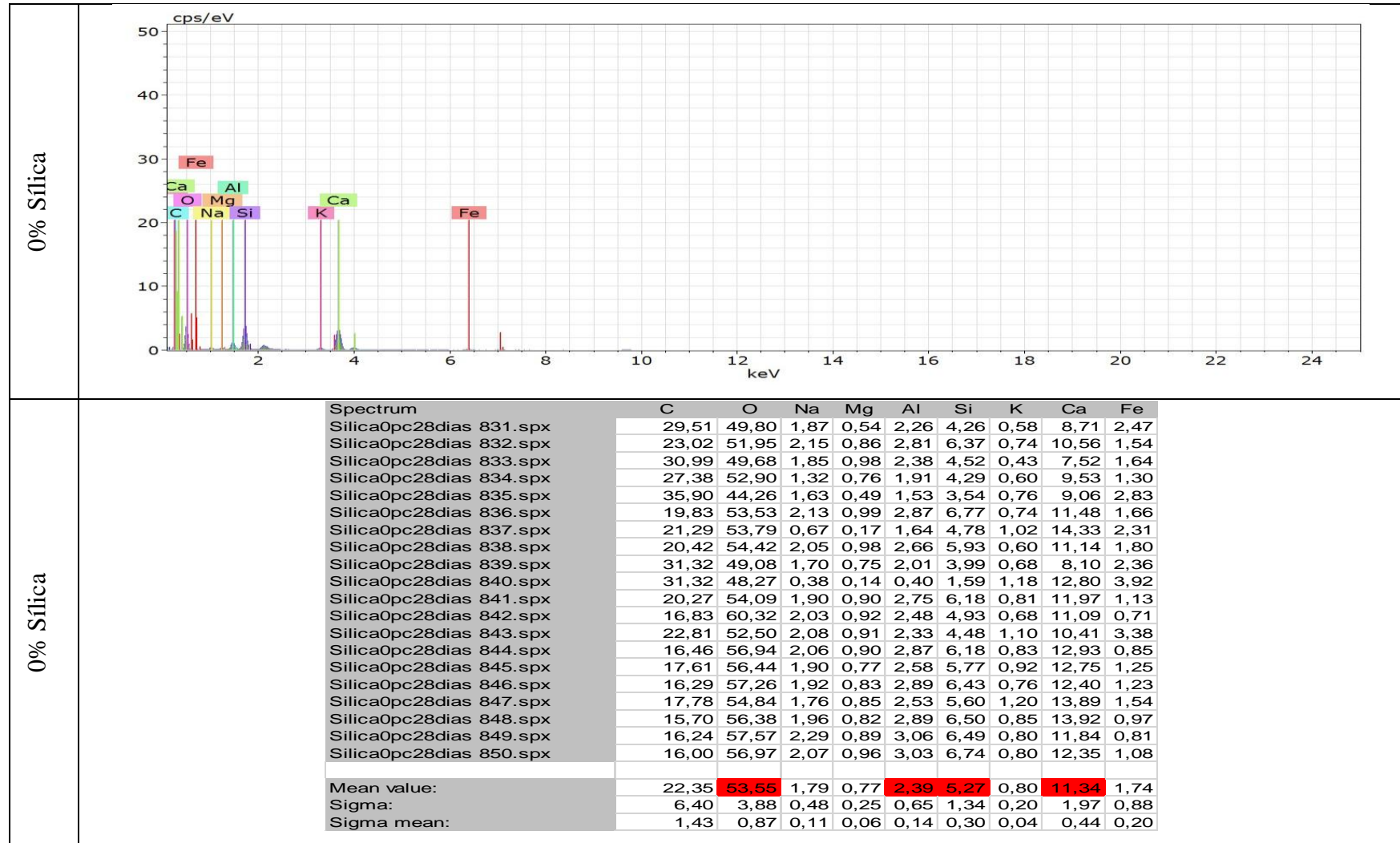


Figura 87 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de hormigón con 0% de sílica gel

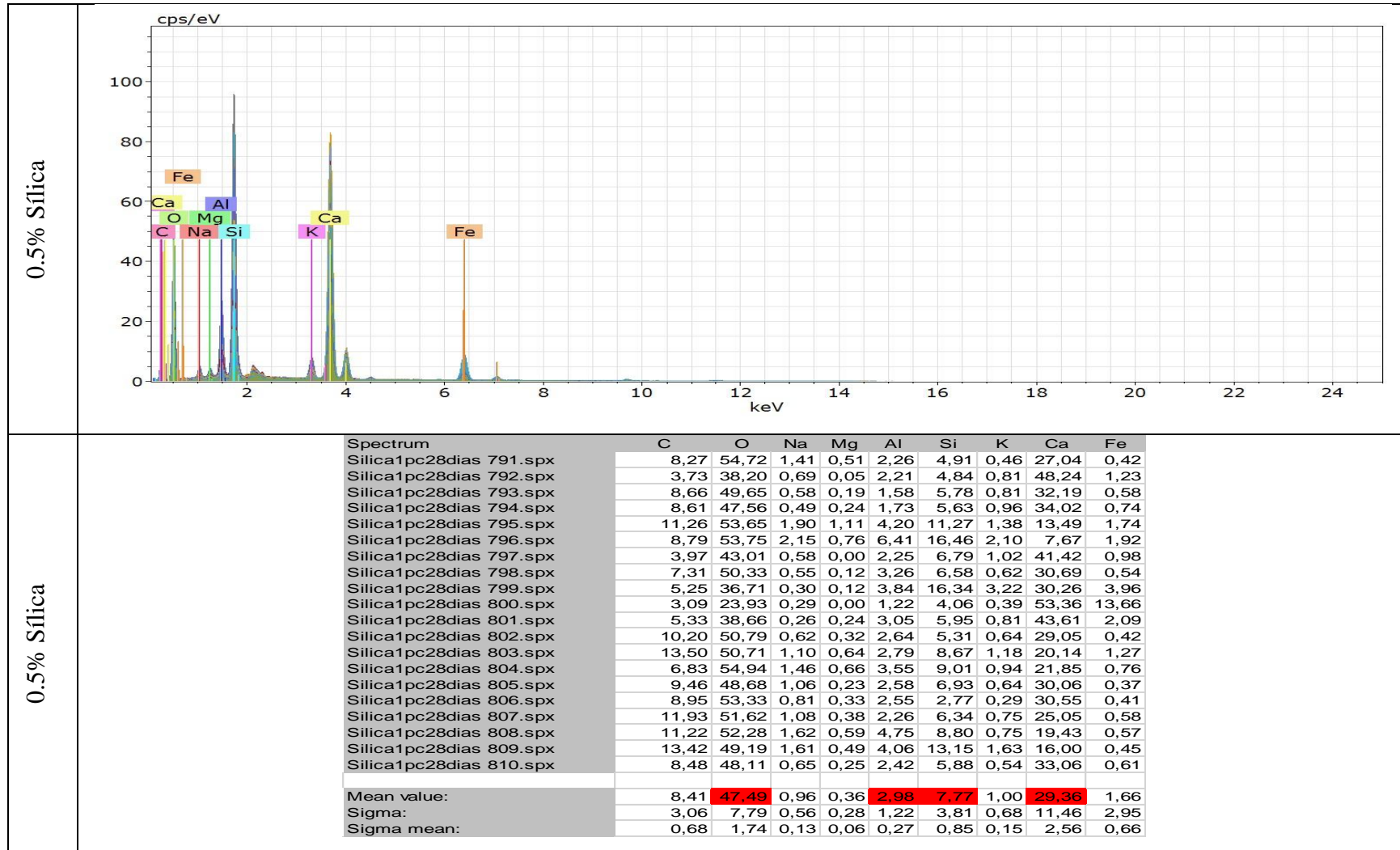


Figura 88 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de hormigón con 0.5 % de sílica gel

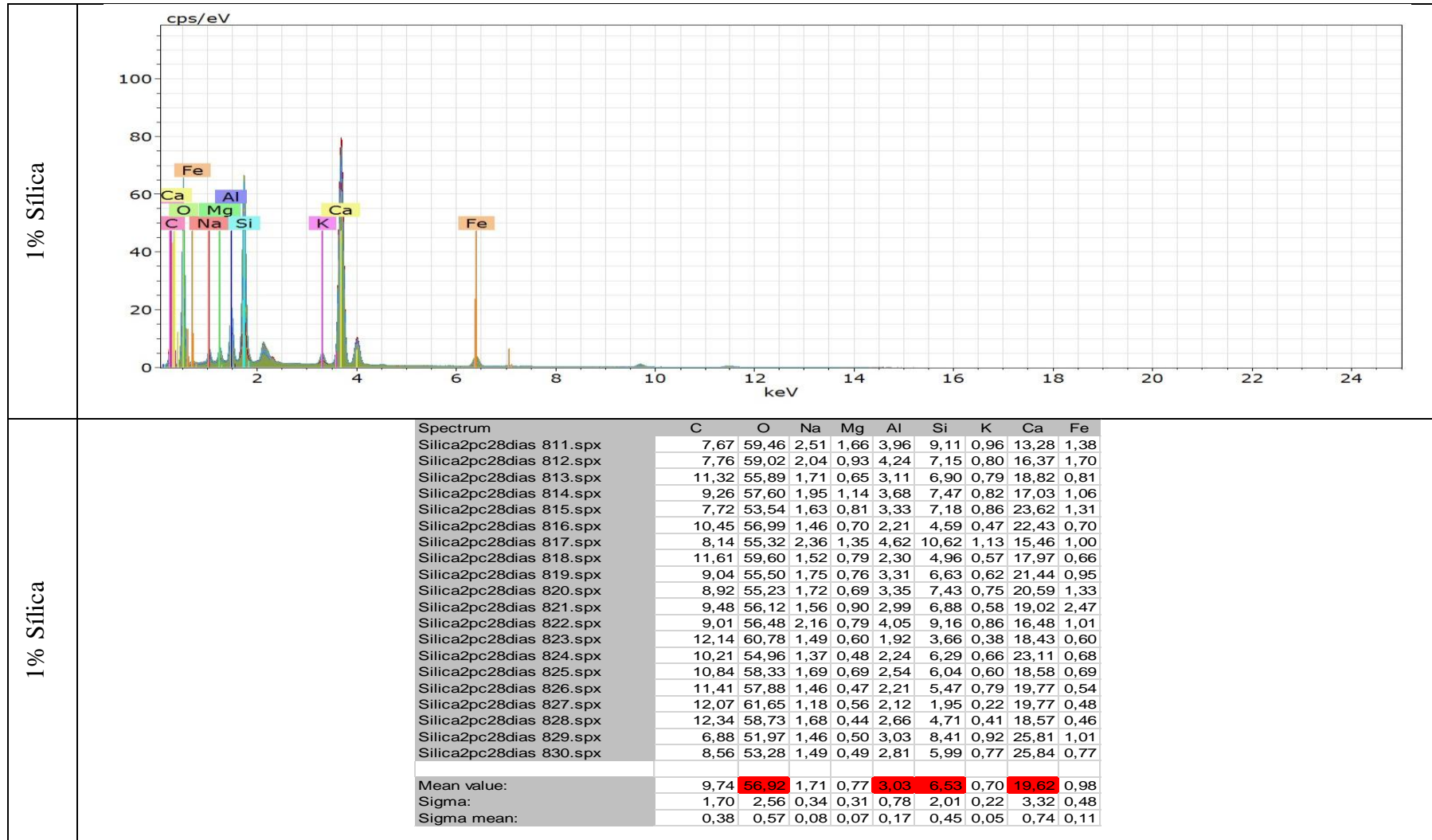


Figura 89 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de hormigón con 1% de sílica gel

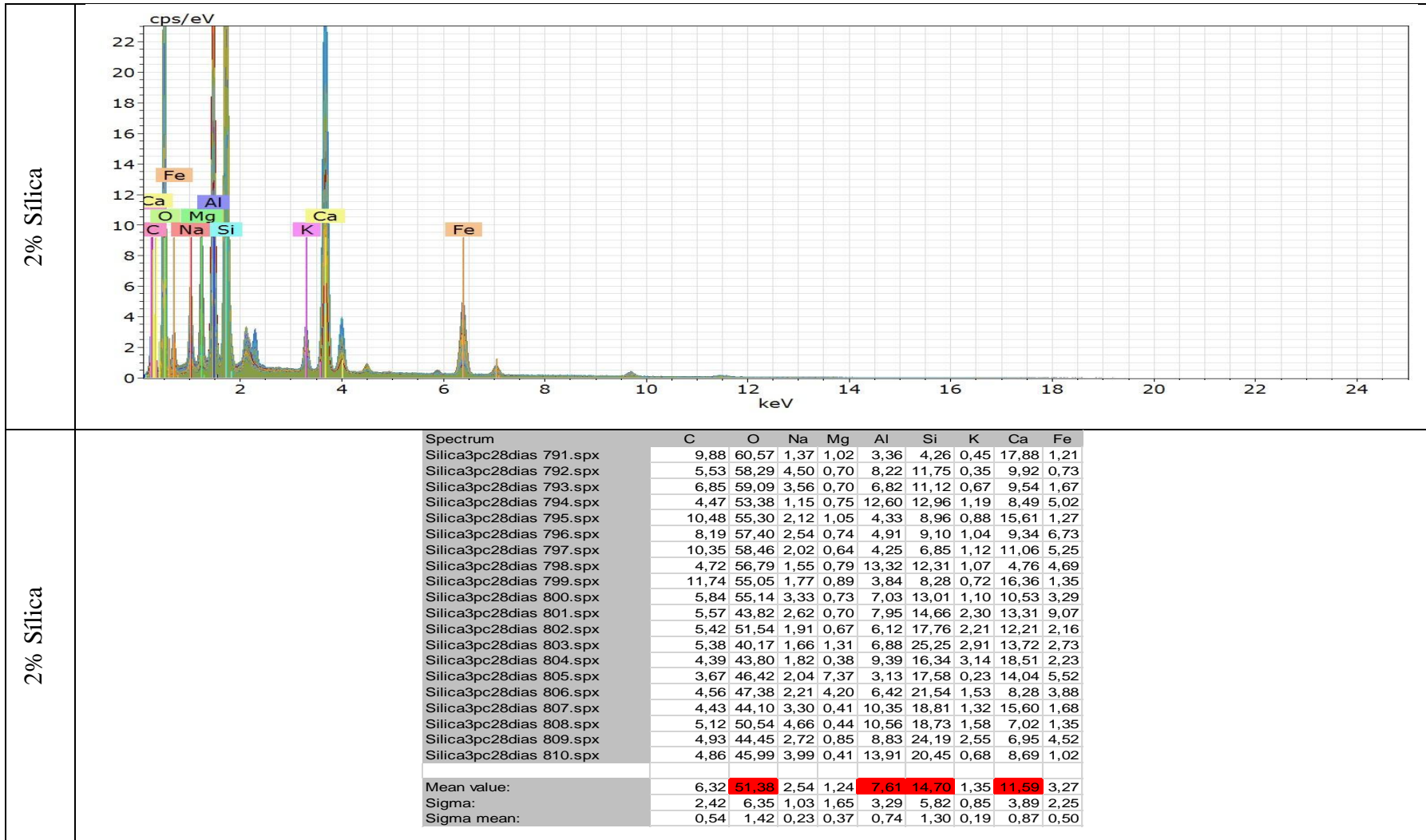


Figura 90 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de hormigón con 2% de sílica gel

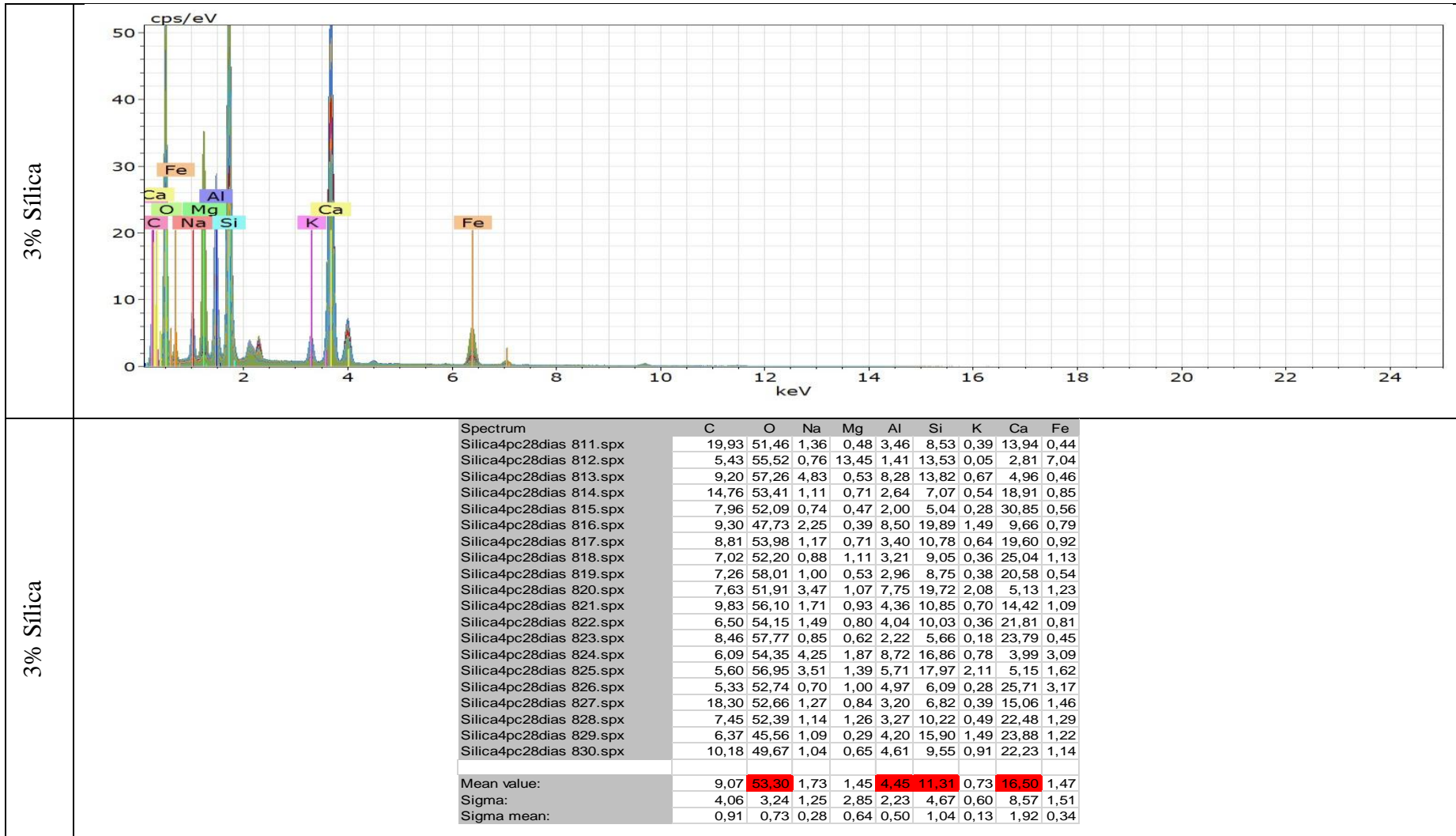


Figura 91 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de hormigón con 3% de sílica gel

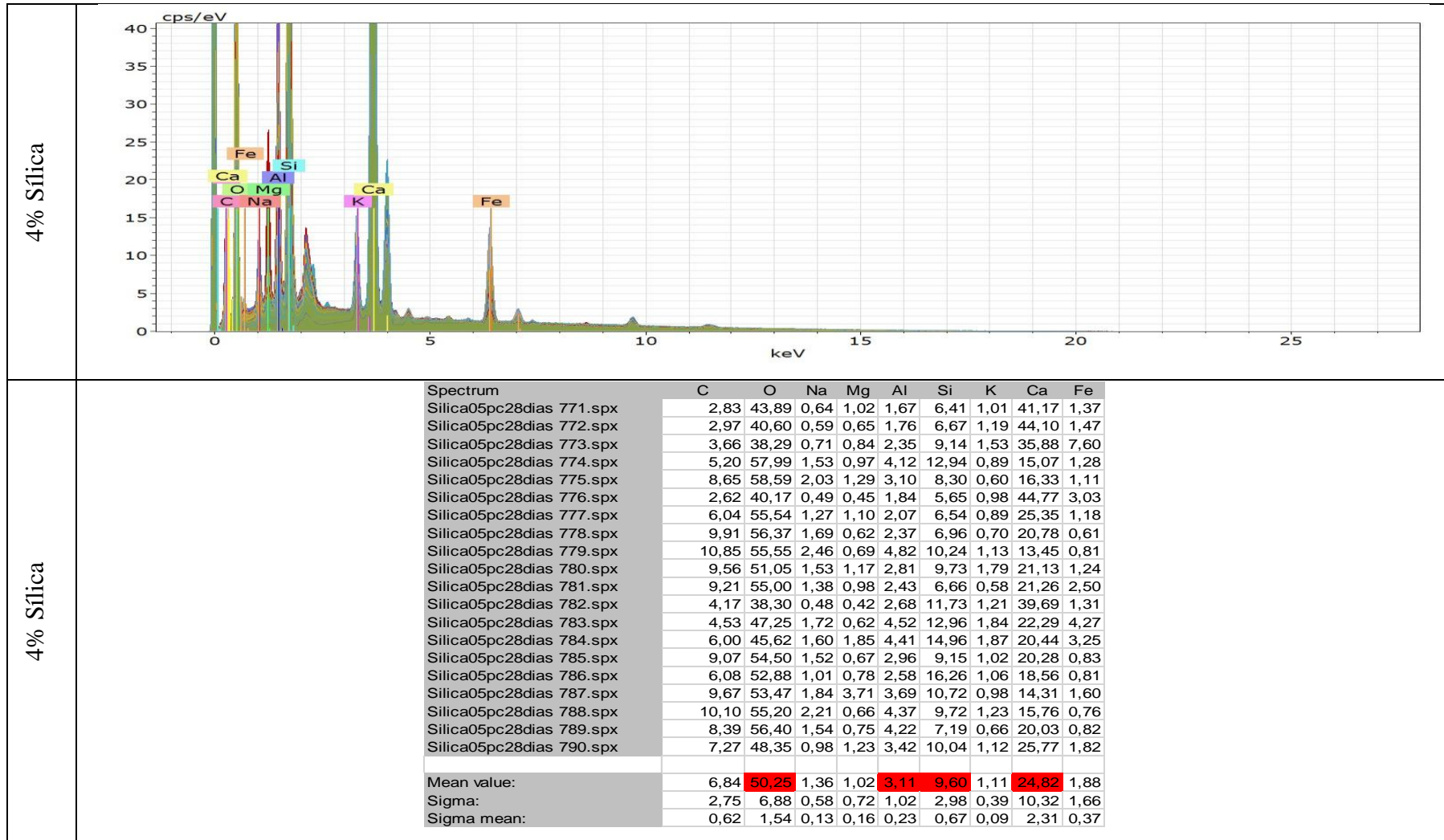


Figura 92 Cuantificación de la cantidad de elementos químicos para la muestra de hormigón con 4% de sílica gel

Tabla 77

Resumen de concentraciones de elementos más importantes que conforman el hormigón

	Sílica	0%	0,50%	1%	2%	3%	4%
O	60,40	53,50	47,40	56,90	51,40	53,30	50,20
Si	36,30	5,30	7,80	6,50	14,70	11,30	9,60
Ca	0,03	11,30	29,40	19,60	11,60	16,50	24,80
Al	0,30	2,40	3,00	3,03	7,60	4,40	3,10

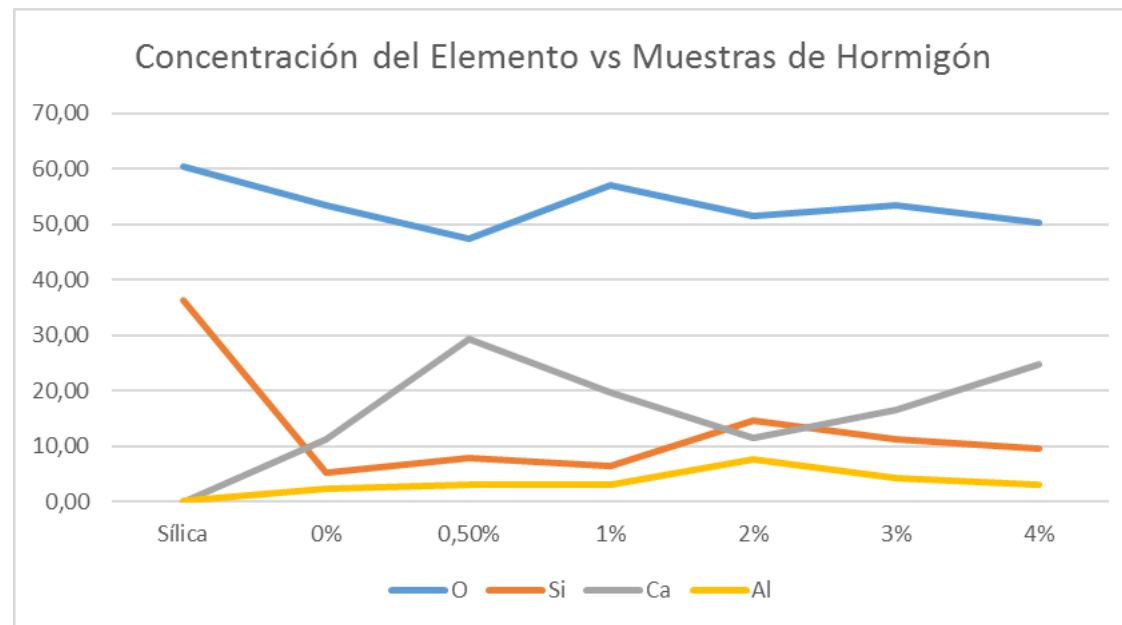


Figura 93 Concentración del elemento Vs Muestras de hormigón.

5.8. Análisis de Costos de producción del hormigón

A continuación se muestra la diferencia de costos en las cantidades de materiales usados para las dosificaciones con y sin aditivo sílica gel, en la tabla 78 podemos notar que la dosificación para un metro cúbico de 400 kg/cm² obtiene 1.76 sacos más que la dosificación para 300 kg/cm², siendo de esta forma menor la cantidad de la relación agua-cemento, dando un ahorro en cemento, pero para el actual mercado ecuatoriano la adquisición del sílica gel es elevada, debido a que en el país no se fabrica comercialmente y se debe importar, concluyendo que, se obtiene un ahorro en comparación al costo del hormigón comercial.

Tabla 78

Comparación de dosificación y costo.

	Costos							
	F'c= 400 Kg/cm ²				Diseño: F'c= 300 Kg/cm ² , Final: 400 Kg/cm ²			
	Cantidad	Unidad	Costo/Unidad \$	Total \$	Cantidad	Unidad	Costo/Unidad \$	Total \$
AGUA	0,20	m ³	0,48	0,09	0,20	m ³	0,48	0,09
CEMENTO	10,33	sacos	8,20	84,72	8,57	sacos	8,20	70,28
ARENA	0,25	m ³	5,00	1,27	0,28	m ³	5,00	1,41
RIPIO	0,38	m ³	5,00	1,92	0,38	m ³	5,00	1,92
Sílica Gel	0,00	kg	25,00	0,00	1,60	kg	25,00	40,00
TOTAL				88,02				113,72
Diferencia Total								25,70

Tabla 79

Costo del hormigón comercial para Ecuador "Hormigonera del Valle".

Costos Hormigón Comercial							
Empresa	Producto	Cantidad	Unidad	F'c (kg/cm ²)	Costo/Unidad \$	Incluye transporte	Total \$
Hormigon del Valle	Hormigón	1	m ³	300	118,75	Si	118,75
	Hormigón	1	m ³	400	146,97	Si	146,97
	Acelerante	1	m ³	68% 7 Dias	1,47	No	1,47
	Acelerante	1	m ³	68% 4 Dias	5,54	No	5,54

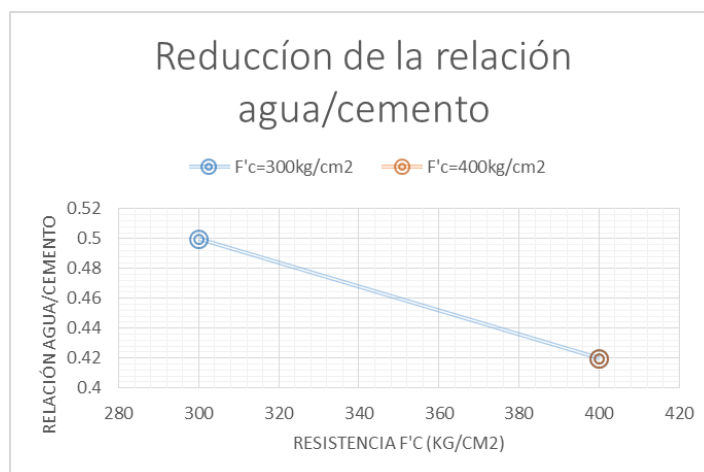
Tabla 80*Cantidades de dosificación para una resistencia de 300 kg/cm² sin inclusión de sílica gel.*

REQUERIMIENTO									
f'c:	300,00		kg/cm²		f'cdis:	354	kg/cm²		a/c
									0,43
R E S U L T A D O S									
DOSIFICACIÓN EN PESO									
	VOL. SSS		PESO SSS		PESO SECO		PESO ESTADO NAT.		
AGUA	51,7	gal.	51,7	gal.	67,1	gal.	41,7	gal.	
CEMENTO	8,6	sacos	428,6	kg.	428,6	kg.	428,6	kg.	
ARENA	0,28	m ³	697,8	kg.	666,7	kg.	745,2	kg.	
RIPIO	0,38	m ³	985,3	kg.	958,0	kg.	975,6	kg.	
TOTAL	1,00	m³	2.307,27		2.307,27		2.307,27		
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN			DOSIFICACIÓN EN PROPORCIÓN			DOSIF PARA PRUEBAS DE LABORATORIO			
AGUA	41,71	gal.	4,87	gal.	4,87	gal.	0,96	gal.	
CEMENTO	8,57	sacos	1,00	sacos	1,0	sacos	9,86	kg.	
ARENA	0,51	m ³	0,06	m ³	1,7	parihuelas	17,14	kg.	
RIPIO	0,78	m ³	0,09	m ³	2,5	parihuelas	22,44	kg.	
					0,33	largo			
					0,33	ancho			
					0,33	alto			
					0,04	m ³			
			PARIHUELAS DE :						4 CILINDROS

CAPÍTULO VI

6.1. Conclusiones

- Los porcentajes de aditivo incluidos en el hormigón se basaron en investigaciones preliminares de “Aditivos químicos para hormigones” (Carrasco , 2012), donde se toma un rango de 0.6 a 3 por ciento para los aditivos reductores de agua respecto al peso del cemento, lo cual sirve para la investigación obtener estos porcentajes 0.5, 1, 2, 3 y 4 para el gel de sílice.
- El gel de sílice influyó en la reducción de la relación agua cemento, hasta en un 19% (0.50 a 0.42).



- Para un incremento de resistencia a la compresión en muestras de hormigón de hasta el 32%, se logró con un 3% de gel de sílice respecto al peso del cemento. Según los resultados de 318.29 kg/cm² a 421.37Kg/cm².
- Para hormigones con un 0.5% de gel de sílice se obtuvo considerables disminuciones en su resistencia a la compresión llegando hasta un 3% menor, siendo un valor descartable; para valores de uso de gel de sílice, como 1, 2, 4 %, los resultados de los valores de compresión son 7%, 7% y 27% respectivamente, lo cual tiene una tendencia de crecimiento hasta el 3% de gel de sílice, y disminuye al 4%.
- Debido a que el tamaño de gel de sílice comercial es de 4 a 2.38 mm, se procedió a disminuirlo utilizando un molino de tolva con un disco molidor, normalmente

se utiliza en nuestro medio para moler granos, el resultado de dicha molienda se volvió a triturar manualmente en un mortero de losa, tal que se obtenga una menor dimensión y aumente la superficie específica.

- En los ensayos de difracción con rayos X, se aprecia que el proceso de molienda del gel de sílice arroja tamaños de partículas de 20 hasta 112 micras, siendo que el mayor porcentaje de partículas molidas tiene la dimensión de 41.59 micras.
- Con respecto a las características de los materiales, se concluye que se obtienen buenas condiciones para el requerimiento de resistencia de 300 kg/cm², con el uso del agregado grueso de la mina Pifo y el agregado fino de la mina de Píntag, cumpliendo todas las normativas mencionadas en el capítulo 3.
- De los agregados finos utilizados, se aprecia que los mejores resultados se dan para módulos de finura menores a 3.
- Con los ensayos de tiempos de fraguado, se evidencia que la inserción del gel de sílice al cemento disminuye notablemente los tiempos de fraguado, sin gel en la mezcla, se obtiene un tiempo de fraguado de 165 minutos, mientras que al añadir 0.5 por ciento el tiempo fue de 105 minutos, al 2 por ciento llegó a ser de 45 minutos y para el 3 y 4 por ciento, el tiempo fue menor a los 30 minutos.
- La microscopía electrónica muestra la morfología del gel de sílice y la formación de los cristales de la reacción del cemento con el agua, con ello se evidencia en las topografías la existencia del gel para cada uno de los porcentajes usados en el hormigón; obteniendo estadísticas de concentración de los elementos químicos que conforman el contenido en la muestra analizada, considerando que ésta no es un representativo del todo.
- La inclusión del gel de sílice a diferentes porcentajes en el hormigón afectó en dependencia de que, a mayores porcentajes de aditivo se requiere una manipulación inmediata de la muestra menor a 20 minutos, el hormigón se vuelve menos trabajable y, en consecuencia, también disminuye el asentamiento en al menos 15mm. Este fenómeno se produce como reacción inmediata del gel en contacto con el agua.
- Para el estudio se utilizó una resistencia de 300 kg/cm², para cada uno de los porcentajes de gel de sílice incluidos en el hormigón, tal que se pueda comparar todos los resultados partiendo de una dosificación inicial común.

- En los ensayos de flexión en vigas, se nota una tendencia al incremento del valor en el módulo de rotura hasta los 14 días, luego de este tiempo no se evidencia un crecimiento, más bien se nota un aumento de porosidad con disminución del módulo de rotura.
- Se evidencia que, durante los ensayos de compresión y flexión con aquellas probetas destruidas presentaron, a mayor porcentaje de gel de sílice, mayor cantidad de porosidad, debido a que durante la hidratación del cemento las partículas de gel de sílice se encogen y dejan huecos llenos de gas, lo cual presenta una manifestación adversa del aditivo.
- Al momento de vaciar el hormigón con gel de sílice, para los porcentajes de esta mezcla con gel a 0, 0.5, 1, 2, 3 y 4, disminuye la temperatura de la mezcla en 11%, 11%, 16%, 18% y 19% respectivamente, lo cual es útil en especial para zonas tropicales con altos niveles de pluviosidad, o solventar errores comunes como el aumento de agua para facilitar la manipulación en obra.

6.2. Recomendaciones

- Antes de la inserción de gel de sílice dentro de una mezcla de hormigón, éste debe permanecer dentro de una zona de almacenamiento sin humedad, para luego, colocarlo en un horno a 150°C, con el fin de que adquiera una coloración azul y de esta forma no obtenga hidratación extra al momento de manipularlo.
- Los agregados finos y gruesos, deben mantener la humedad con la que se realizó el proceso de dosificación, si no es posible tener los materiales de esta forma, se recomienda hacer la corrección de humedad, para poder controlar la relación agua-cemento, y así no afectar la resistencia final a la compresión y flexión.
- La manipulación de la masa de hormigón debe ser inmediata, no mayor a 20 minutos, al ser incluido el aditivo, ya que la trabajabilidad se dificulta al paso del tiempo.
- Se recomienda elaborar un mayor número de probetas, para poder obtener una mayor confianza en los resultados, y así tener una estadística óptima
- Para futuras investigaciones se puede realizar, la mezcla de hormigón con el gel de sílice, reducido a tamaños de nano partículas menores a 300 nanómetros, ya

que se genera mayor área de superficie de contacto, y posiblemente generará mejores resultados.

- Estudiar el aumento de la porosidad en el hormigón hidráulico, al adicionar gel de sílice como aditivo.
- Realizar estudios de diseño, para asentamientos del hormigón fresco mayores a 5 centímetros.
- Para estudios futuros, ver los efectos secundarios del gel de sílice, para los incrementos de porosidad. Además de usos del aditivo para tamaños menores a 300 nanómetros.

6.3. Bibliografía

1. Aconstructoras. (14 de Agosto de 2016). *aconstructoras.com "Colombia"*. Obtenido de http://www.aconstructoras.com/product_info.php?products_id=2888

2. Alonso, M., Puertas, F., & Palacios, M. (2009). *Aditivos para el hormigón: compatibilidad cemento-aditivos basados en policarboxilatos*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

3. Apache, D. (1999). Usando Aditivos para mejorar la Resistencia Química del Concreto. *Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C.*, 3.

4. Asmal Iturralde, D. A., Ocaña Borja, J. L., Perdomo Velásquez, A. A., & Pérez Casco, J. C. (Julio de 2012). Estudio del modulo de elasticidad estático del hormigón en base a la resistencia a la compresión ($F'_c=21,28$ Mpa) fabricado con materiales de la mina de Pintag. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

5. Camaniero, R. (2010). *Dosificación de Mezclas*. Quito: Universidad Central del Ecuador.

6. Campoverde Matute, S. D., & Muñoz Merchan, D. J. (2015). *Estudio experimental del uso de diferentes aditivos como plastificantes reductores de agua en la elaboración de hormigón y su influencia en la propiedad de resistencia a la compresión*. Cuenca: Facultad de Ingeniería Química Universidad de Cuenca.

7. Carrasco , F. (Abril de 2012). Aditivos Químicos para Hormigones. 20. Santa Fe, Colombia: Universidad Tecnologica Nacional.
8. Chemie, L. (2015). *Certificate of Analysis*. Mumbai: ISO 9001-2008.
9. Concreto, T. d. (28 de Junio de 2015). *Tecnología del Concreto*. Obtenido de Tecnología del Concreto: <http://tecto.blogspot.com/2015/06/semana-12.html>
10. DINERO, R. (6 de Junio de 2015). *DINERO Revista*. Obtenido de DINERO Revista: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/aguas-residuales-convierten-opcion/209303>
11. Francesca, E. (16 de Agosto de 2016). *eHow*. Obtenido de http://www.ehowenespanol.com/relacion-area-superficie-velocidad-reaccion-quimica-info_293048/
12. Fuente Propia. (14 de Agosto de 2016). Registro Fotografico para Trabajo de Titulación. Quito, Ecuador.
13. González Sandoval, F. (2004). *Manual de Supervisión de Obras de Concreto*. México: Limusa S.A.
14. Gutiérrez, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales: Centro de publicaciones Universidad Nacional de Colombia.
15. Hernández, I. J. (2010). *Tecnología del concreto TOMO 1*. Bogotá: Nomos Impresores.
16. INEN. (Junio de 2009). Norma Técnica Ecuatoriana. *Determinación de la consistencia normal. Metodo de Vicat*. Quito, Ecuador: INEN.
17. INEN. (30 de Julio de 2010). Norma Técnica Ecuatoriana. *INEN 857-2010*. Quito, Ecuador.
18. INEN. (29 de Octubre de 2010). Norma Técnica Ecuatoriana. Quito, Ecuador.
19. INEN. (2011). Norma Técnica Ecuatoriana. *Áridos, análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso*. Quito, Ecuador: INEN.

20. López, M., Kahn, L., & Kurtis, K. (2005). Curado interno de hormigones de alto desempeño. *Revista Ingeniería de Construcción Vol.20 N°2*, 9.
21. Materiales, T. d. (17 de Septiembre de 2015). Obtenido de concreto, Instituto Salvadoreño del cemento y del concreto: http://tecnololapa.blogspot.com/2015_09_01_archive.html
22. Mechtcherine , V., & Reinhardt, H.-W. (2012). Application of Superabsorbent Polymers (SAP) in Concrete Construction. En F. o. Engineering. Germany: Rilem.
23. Mejlhede, J. (2013). Use of Superabsorbent Polymers in Concrete. *Concrete International*, 5.
24. Prato, N. (Abril de 2007). *Curso Química del Cemento*. Obtenido de ANCAP: <http://www.ancap.com.uy/>
25. QUIMINET. (13 de Febrero de 2006). *QUIMINET*. Obtenido de <http://www.quiminet.com/articulos/que-es-la-silica-gel-6215.htm>
26. Rivera, G. (2013). *Concreto Simple*. Cauca: Universidad del Cauca.
27. Romo, M. (2008). *Temas de Hormigón Armado*. Quito: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
28. Sánchez de Guzmán, D. (2001). *Tecnología del Concreto y del mortero*. Bogotá: Bhandar Editores Ltda.
29. Taylor, G. (1994). *Materials in Construction*. Londres.
30. Tobón, J. I., Restrepo Baena , O. J., & Payá Bernabeu, J. J. (2007). Adición de Nanopartículas al cemento Portland. *Dyna*, 15.
31. Tobón, J., Restrepo, O., & Payá, J. (2006). Adición de Nanopartículas al cemento portland. *Dyna*, 15.
32. Torres, P. (2016). *Hoja de cálculo para dosificación* . Quito, Ecuador.
33. UNIMAQ. (Lunes 15 de Agosto de 2016). *Club UNIMAQ*. Obtenido de <http://www.clubunimaq.com.pe/la-importancia-de-los-aditivos-para-el-concreto/>

34. Web Ingeniería Civil 21 Sitio. (Febrero de 2011). *Lo último en Ingeniería del siglo XXI*. Obtenido de http://ingenieriacivil21.blogspot.com/2011/02/disen-de-mezclas-de-hormigon_24.html

35. Yanca Alvarado, A. G. (2013). Módulo estático de elasticidad del hormigón en base a su resisitencia a la compresión, fabricado con materiales de la mina de San Ramon ubicada en la parroquia de mulaló en la en la provincia de Cotopaxi y cemento Chimborazo. *Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil*, 254.

6.4. Anexos



Laboratorio de Ensayo de Materiales

ORIGEN: Holcim Pifo y Píntag

FECHA: 27 – 04 – 2016

PROYECTO: Hormigón con gel de Sílice **ENSAYÓ:** Rugel y Zamora

Datos de Ingreso para la dosificación del Hormigón con gel de sílice

TIPO			DISPERSIÓN		CONSISTENCIA			
BOMBEABLE	1.00	SI	std	40.00	kg/cm ²	ASENTAMIE	1.00	3-5cm
	2.00	NO	Curvas de f'c vs relacion a/c				2.00	8-10cm
			ACI	1.00				
			TIPO I	2.00				
FACTOR B	1.00		ESPECIAL	3.00			3.00	15-18cm
OPCION:	2.00		OPCION :	1.00		OPCION No:	1.00	
PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS						PROCEDENCIA		
	RIPIO	ARENA	CEMENTO			AGREGADOS		
Ge			3.14			CEMENTO	Holcim Fuerte Tipo 1p	
PUC (Kg/m ³)	1407	1648				ARENA	Píntag	
PUS(kg/m ³)	1247	1460				RIPIO	Pífo Holcim	
T máx (pulg)	1					ADITIVO	Gel Sílice	
Mf		2.7						
%Ab	2.85	4.65						
%Hn	1.84	11.77						
Dsss (kg/m ³)	2560	2466						
PUS(kg/m ³)	1247	1460						
REQUERIMIENTO								a/c
f'c:	300.00	kg/cm ²	f'cdis:	354	kg/cm ²			0.43

Fuente: modificada de (Torres, 2016)

Valores obtenidos de la dosificación Hormigón con gel de Sílice

RESULTADOS							
DOSIFICACIÓN EN PESO							
	VOL. SSS		PESO SSS		PESO SECO		PESO ESTADO NAT.
AGUA	51.7 gal.		51.7 gal.		67.1 gal.		41.7 gal.
CEMENTO	8.6 sacos		428.6 kg.		428.6 kg.		428.6 kg.
ARENA	0.28 m ³		697.8 kg.		666.7 kg.		745.2 kg.
RIPIO	0.38 m ³		985.3 kg.		958.0 kg.		975.6 kg.
TOTAL	1.00 m³		2,307.27		2,307.27		2,307.27
DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN		DOSIFICACIÓN EN PROPORCIÓN			DOSIF PARA PRUEBAS DE LABORATORIO		
AGUA	41.71 gal.		4.87 gal.		4.87 gal.		0.96 gal.
CEMENTO	8.57 sacos		1.00 sacos		1.0 sacos		9.86 kg.
ARENA	0.51 m ³		0.06 m ³		1.7 parihuelas		17.14 kg.
RIPIO	0.78 m ³		0.09 m ³		2.5 parihuelas		22.44 kg.
					0.33 largo		
					0.33 ancho		
					0.33 alto		
					0.04 m ³		
			PARIHUELAS DE :				8 CILINDROS

Fuente: modificada de (Torres, 2016)

Se anexa el registro fotográfico de los ensayos en el CD-ROM adjunto.