

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE INGENIERIA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

TRABAJO DE TITULACION

Título del Proyecto:

REACTIVIDAD ÁLCALI – SÍLICE, DE LAS COMBINACIONES CEMENTANTES CON
LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LAS MINAS CERRO NEGRO Y RIO CHAMBO

Autor:

Cristhian Javier Villagómez Avilés

Tutor:

Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar Msc

Riobamba – Ecuador

Año 2019

REVISION

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “REACTIVIDAD ÁLCALI – SÍLICE, DE LAS COMBINACIONES CEMENTANTES CON LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LAS MINAS CERRO NEGRO Y RIO CHAMBO” presentado por **Villagómez Avilés Cristhian Javier** y dirigida por: Ing. Jorge Núñez. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

Para la constancia de lo expuesto firman:

Ing. Jorge Núñez
Tutor Del Proyecto



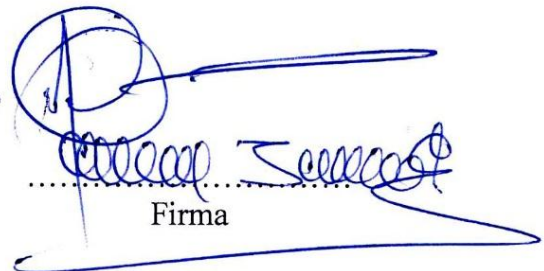
.....
Firma

PhD. Víctor García
Miembro Del Tribunal



.....
Firma

Ing. Javier Palacios
Miembro Del Tribunal



.....
Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “REACTIVIDAD ÁLCALI – SÍLICE, DE LAS COMBINACIONES CEMENTANTES CON LOS AGREGADOS PÉTREOS DE LAS MINAS CERRO NEGRO Y RIO CHAMBO”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al señor **Cristhian Javier Villagómez Avilés** para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

Atentamente.



.....
Ing. Jorge Núñez Msc.
TUTOR DE TESIS

AUTORÍA DE INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Cristhian Javier Villagómez Avilés e Ing. Jorge Eugenio Núñez Vivar y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo



.....
Cristhian Javier Villagómez Avilés

C.I. 060393105-6

DEDICATORIA

Dedico este trabajo investigativo a Dios, a mis padres Luis y Alicia por estar a mi lado en todo momento de mi vida, apoyándome, impulsándome y brindándome sus consejos para poder seguir adelante; por tenerme paciencia y brindarme todo su amor los quiero mucho y quiero decirles que este logro es tan suyo como mío.

A mis abuelitos que siempre estuvieron presentes en mis logros y caídas, que con su manera de ser me inculcaron buenos valores y costumbres.

A mis hermanos David y Andrés, quienes a su manera me han apoyado y guiado en este largo camino de la universidad.

Cristhian Javier Villagómez Avilés

AGRADECIMIENTO

A mis padres por darme su apoyo y mantener su confianza en mí durante cada semestre para culminar mi carrera y por enseñarme con el ejemplo que todas nuestras metas y objetivos son posibles de lograr con esfuerzo y dedicación.

A mis hermanos, que entre risas y disgustos siempre me motivaron a seguir adelante.

A mis abuelitos, esos padres que siempre estuvieron ahí, con un consejo, una comida o un abrazo, y su manera de ver la vida desde la experiencia para hacerla más fácil.

A la UNACH y a sus docentes que a lo largo de la carrera me han impartido sus conocimientos y experiencias, que cultivaron en mí, el gusto por esta carrera y de manera especial al Ing. Jorge Núñez por su paciencia, y apoyo en la realización de este trabajo.

A mis amigos, que de a poco se han convertido en parte de mi familia.

Cristhian Javier Villagómez Avilés

Índice:

Resumen.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General.....	3
2.2. Objetivo Especifico.....	3
CAPITULO I.....	4
2. MARCO TEORICO.....	4
3.1. Reacción álcali-sílice.....	4
CAPITULO II.....	8
3. METODOLOGÍA.....	8
CAPITULO III.....	12
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
5. Conclusiones y Recomendaciones.....	22
6.1. Conclusiones.....	22
6.2. Recomendaciones.....	22
6. REFERENCIAS:.....	23
7. ANEXOS:.....	26
Anexo 1 Mesa de Flujo: Mediciones.....	26
Anexo 2 Expansión de las probetas estudiadas.....	27

Anexo 3 Fotografías del ensayo	48
--------------------------------------	----

Índice de Tablas

Tabla 1 Nivel de riesgo según las sus condiciones	5
Tabla 2 Rocas potencialmente reactivas	6
Tabla 3 Requerimientos de Granulometria de los aridos para la elaboracion de las barras de mortero	10
Tabla 4 Numero de probetas elaboradas para el ensayo de álcali-sílice por el método acelerado de acuerdo a cada combinación	11
Tabla 5 Análisis químico elemental, como resultado del ensayo de Fluorescencia de rayos x expresado en óxidos, de la muestra 1.....	12
Tabla 6 Análisis químico elemental, como resultado del ensayo de Fluorescencia de rayos x expresado en óxidos, de la muestra 2.....	13
Tabla 7 Ensayo mineralógico elemental de los agregados.....	14
Tabla 8 Difracción de rayos X de los agregados pétreos de Cerro Negro y Rio Chambo..	15
Tabla 9 Resumen del ensayo Granulométrico de los agregados pétreos	16
Tabla 10 Fluidez con agregados de Rio Chambo.....	17
Tabla 11 Fluidez con agregados de Cerro Negro.....	17
Tabla 12 Dosificación barra de mortero Mina Rio Chambo.....	18
Tabla 13 Dosificación barra de mortero mina Cerro Negro	18
Tabla 14 Valores medios de los resultados obtenidos del ensayo de la barra de mortero ..	19
Tabla 15 Mesa de Flujo con agregados de Rio Chambo.....	26
Tabla 16 Mesa de Flujo con agregados de Cerro Negro	26

Tabla 17 Mediciones de Expansión Probeta 1	27
Tabla 18 Mediciones de Expansión Probeta 2	28
Tabla 19 Mediciones de Expansión Probeta 3	29
Tabla 20 Mediciones de Expansión Probeta 4	30
Tabla 21 Mediciones de Expansión Probeta 5	31
Tabla 22 Mediciones de Expansión Probeta 6	32
Tabla 23 Mediciones de Expansión Probeta 7	32
Tabla 24 Mediciones de Expansión Probeta 8	33
Tabla 25 Mediciones de Expansión Probeta 9	34
Tabla 26 Mediciones de Expansión Probeta 10	34
Tabla 27 Mediciones de Expansión Probeta 11	35
Tabla 28 Mediciones de Expansión Probeta 12	36
Tabla 29 Mediciones de Expansión Probeta 13	37
Tabla 30 Mediciones de Expansión Probeta 14	38
Tabla 31 Mediciones de Expansión Probeta 15	39
Tabla 32 Mediciones de Expansión Probeta 16	40
Tabla 33 Mediciones de Expansión Probeta 17	41
Tabla 34 Mediciones de Expansión Probeta 18	42
Tabla 35 Mediciones de Expansión Probeta 19	43
Tabla 36 Mediciones de Expansión Probeta 20	44
Tabla 37 Mediciones de Expansión Probeta 21	45
Tabla 38 Mediciones de Expansión Probeta 22	46
Tabla 39 Mediciones de Expansión Probeta 23	47

Tabla 40 Mediciones de Expansión Probeta 24	48
---	----

Índice de Figuras

Figura 1 Comparación entre la deformación de Rio Chambo vs Cerro Negro con cemento tipo IP	20
Figura 2 Comparación entre la deformación de Rio Chambo vs Cerro Negro con cemento tipo GU	20
Figura 3 Comparación entre la deformación de cemento tipo IP y tipo GU con material de Rio Chambo	21
Figura 4 Comparación entre la deformación de cemento tipo IP y tipo GU con material de Cerro Negro	21
Figura 5 Lavado y triturado del material a utilizar	48
Figura 6 Mesa de flujo de Mortero	49
Figura 7 Elaboración de Probetas de mortero	49
Figura 8 Probetas ensayadas método de la barra mortero	50
Figura 9 Medición de Probetas	50
Figura 10 Probetas iniciales	51
Figura 11 Inmersión de probetas en Hidróxido de sodio 1 molar	51
Figura 12 Fisuras en probeta #22 con cemento tipo GU y agregados de Cerro Negro	52
Figura 13 Probeta #22 al salir de la mezcla con cemento tipo GU y agregados de Cerro Negro	52
Figura 14 Fisuras en probetas con cemento GU y agregados de Cerro Negro	53
Figura 15 Fisuras en probetas con cemento tipo GU y agregados de Cerro Negro	53

Figura 16 Fisuras de probetas con cemento tipo GU y agregados de Rio Chambo	54
Figura 17 Probetas con cemento tipo IP al final del ensayo y agregados de Cerro Negro	54
Figura 18 Fisuras en probetas con cemento tipo IP y agregados de Cerro Negro	55
Figura 19 Probeta 11 al final del ensayo de Barra mortero con cemento tipo IP y agregados de Cerro Negro	55

Resumen

El mundo entero se ha preocupado por la degradación del hormigón, la cual tiene muchas causas y consecuencias, una de las más importantes es la que se origina por las reacciones expansivas del hormigón, donde la reacción álcali-sílice, cuyas siglas en inglés son (ASR), es una de las más perjudiciales; esto debido a que muchos áridos son potencialmente activos a esta reacción, misma que provoca una expansión del hormigón, este aumento de volumen se da mediante la reacción química del álcali del cemento con el sílice del árido.

En el presente trabajo se estudió las propiedades de los áridos de las principales canteras de la ciudad de Riobamba y su posible reacción álcali-sílice en el hormigón.

En esta investigación se realizaron dos ensayos para determinar la reactividad álcali-sílice de los materiales analizados, el ensayo de Fluorescencia de rayos x en los dos tipos de cementos (IP, GU) para conocer los elementos alcalinos presentes en cada uno de ellos, y, el ensayo de la barra mortero para medir la expansión de las barras y determinar su posible reactividad.

Los resultados de esta investigación, indican que uno de los materiales cementantes tiende a ser susceptible a esta reacción, ya que se obtiene una expansión mayor a la admitida por las normas ecuatorianas y americanas.

Palabras clave: Deterioro del hormigón, expansión, álcali-sílice

Abstract

The whole world has been concerned about the degradation of concrete, it has a lot of causes and consequences, one of the most important is the one that is originated by the expansive reactions of concrete,, where the Alkalis-silica reaction, which acronyms are in English (ASR), is one of the most harmful, its because of the great amount of aggregates potentially activate this reaction, the same that causes the expansion of the concrete, this occurs when the chemical reaction of the alkali and the cement meets the silice from the aggregates.

In the following work, the properties of the aggregates were studied from the main quarry companies in Riobamba, and their possibly ASR in concrete

In this investigation two studies were done in order to determinate the reactivity alkalis-silica of the materials, the fluorecence of x rays in the two types of cement (IP, GU) in order to know the elements alkaline in each one, and, the experiment of the mortar bar to measure the expansion of the bars and determinate its possible reactivity

The results of this investigation, indicate that one of the cement materials, tents to be more susceptible to this reaction, because the expansion is too great, and its not acceptable in Ecuadorians and Americans standards.



Reviewed by:
Danilo Yépez Oviedo
English professor UNACH



1. INTRODUCCIÓN

Una de las principales propiedades de una obra civil, construida en hormigón, es su durabilidad y como responde ante acciones tanto internas como externas, durante su periodo de vida útil (Escobar, 2013). Al realizar una inspección visual de las construcciones de Riobamba y hacer una búsqueda bibliográfica, se determinó que el material más utilizado dentro de la construcción, es el hormigón.

Para obtener una buena durabilidad del hormigón, es necesario realizar los ensayos pertinentes a los agregados pétreos, tanto finos como gruesos, a fin de esto la Norma INEN (2011) vigente en el Ecuador estableció algunas normas, para la utilización de estos agregados, talvez la más importante sea la NTE INEN 0872:83 Áridos para Hormigón Requisitos.

Pero hay que tener en cuenta que el hormigón, no es algo químicamente inerte, este por naturaleza es alcalino (Martínez, 2015). Al tener al cemento Portland como un material alcalino, solo falta algún agregado pétreo que tenga presencia de sílice, para que se desencadene la reacción álcali-sílice en el hormigón (Gautam, B. P., Panesar, D. K., Sheikh, S. A., & Vecchio, F. J. , 2017). Esta reacción consiste en la expansión del hormigón generando fisuras, lo cual a largo plazo genera daños estructurales, reducción en la vida útil de las obras y por ende perdidas económicas (Gadea, J., Soriano, J., Martín, A., Campos, P. L., Rodríguez, A., Junco, C., Calderón, V. 2010).

Sin embargo y a pesar de que esta reacción ha sido estudiada en todo el mundo desde su descubrimiento en 1940 (Hafçi, 2013), En la ciudad de Riobamba no se le ha dado la importancia debida, si tomamos en cuenta las características de la zona y el suelo donde se encuentra asentada la ciudad, se puede decir que sus agregados pétreos son principalmente andesitas de origen volcánico (Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos del Ecuador, 1982). Dichas rocas

tienden a ser nocivas para el hormigón, pues podrían desencadenar la reacción álcali-sílice (Segarra, 2005).

El hormigón es el material más usado dentro de la construcción de obras civiles a nivel local, por lo cual la presente investigación pretende crear un conocimiento base, en cuanto a la reacción álcali-sílice, tomando como referencia los agregados pétreos y cementos más utilizados en la ciudad de Riobamba.

1. OBJETIVOS

2.1.Objetivo General

- Determinar la reactividad álcali sílice de las combinaciones cementantes con los agregados pétreos de las minas Cerro Negro y Rio Chambo, de la ciudad de Riobamba.

2.2.Objetivo Especifico

- Analizar si los agregados pétreos de las minas estudiadas favorecen la reacción álcali – sílice.
- Estudiar la expansión generada por la reacción álcali-sílice, que presentan las diferentes combinaciones cementantes utilizadas en esta investigación.

CAPITULO I

2. MARCO TEORICO

3.1. Reacción álcali-sílice

La ASR se da por la disolución de los materiales alcalinos del cemento y los materiales silíceos de los agregados, los cuales en conjunto forman un gel, el cual puede absorber agua, aumentando de esta manera su volumen, ejerciendo presiones internas, las cuales a la vez generan fisuras en el hormigón. (Martínez, 2015). De ahí que el estudio de los agregados finos y gruesos sea muy importante, ya que algunos agregados son susceptibles a reaccionar con los componentes de la fase intersticial de hormigón ((Witt, Gonell & Costa, 2013).). La fase intersticial será el agua comprendida entre la película que bordea al agregado pétreo y la pasta de cemento (Valls, 2013).

Una vez conocidos los efectos que genera la ASR en el hormigón, es conveniente reconocer los distintos escenarios que pueden presentarse, para que se genere o no la reacción ASR, tal como lo muestra la tabla 1.

Tabla 1 Nivel de riesgo según las sus condiciones

Nivel de Riesgo	Condición de la solución de los poros		Condición de potencialidad de los agregados	de los	Condición de exposición hormigón	de del
	Altos	Bajos	Reactivos	Inocuos	Húmedo	Seco
	Álcalis	Álcalis				
Riesgo Alto	X		X		X	
Riesgo Medio	X		X			X
Riesgo Bajo		X	X		X	
Sin Riesgo		X		X		X

Nota. Fuente: Diego Sánchez de Guzmán, Durabilidad y Patología del Concreto, Asociación Colombiana de Productores de Concreto, Colombia, Segunda Reimpresión, 2006.

Como lo describe la tabla 1, hay varios escenarios donde la reacción ASR, puede ocurrir con mayor facilidad, por lo cual es importante definir los agregados que pueden causar esta reacción expansiva, la tabla 2 muestra las rocas que pueden causar esta reacción.

Tabla 2 Rocas potencialmente reactivas

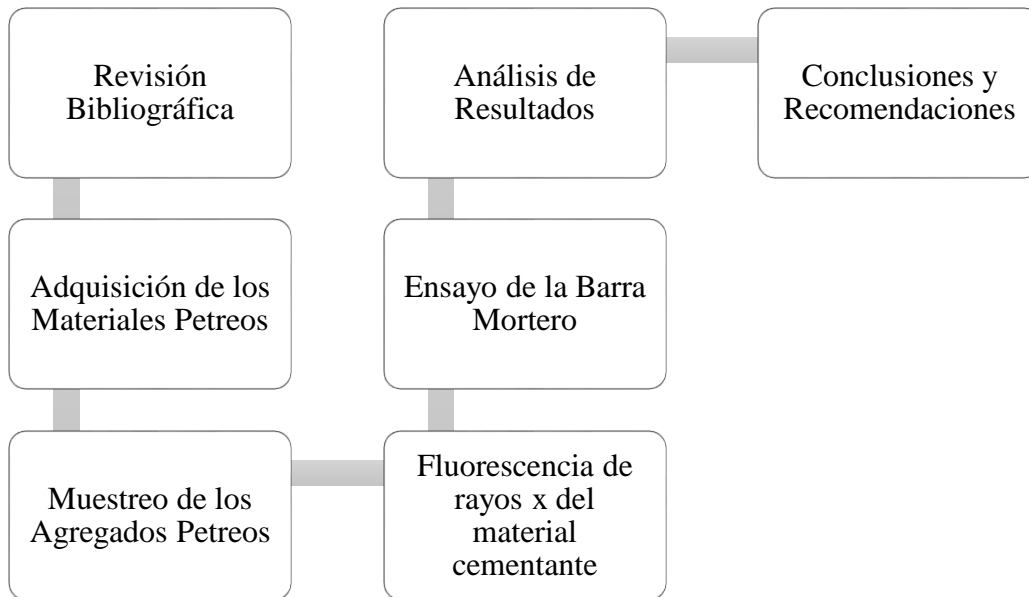
Tipo de Roca	Observaciones
Rocas Ígneas	
Granitos	+30% de cuarzo deformado
Granodiorita	
Piedra Pómez	
Ricitas	
Andesitas	Sílice o sílice intermedio
Dacitas	
Latitas	
Tobas Volcánicas	
Basalto	Calcedonia, cristobalita
Rocas Metamórficas	
Gneis	+30% de cuarzo deformado
Esquistos	
Cuarcitas	5% o más de sílice
Filitas	
Rocas Sedimentarias	
Areniscas	5% o más de sílice, ópalo
Pizarras	
Sílice	
Diatomita	Ópalo, cuarzo criptocristalizado
Cuarzo	

Nota. Fuente: Segarra, J (2005), Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en el hormigón, Universidad Politécnica de Cataluña, España, Tesina, Julio 2005

Para determinar la expansión que resulta de la reacción álcali-sílice existen muchos métodos, pero uno de los más aceptados y confiables es el método de la barra de mortero, el cual está normado por la NTE INEN 0867:83, este método es muy utilizado, debido a que se ha comprobado alrededor del mundo, aunque con el pasar del tiempo el método acelerado propuesto por la norma ASTM C-1257 (ASTM, 2008), el cual dura 16 días, ha ganado mucho espacio, siendo el más utilizado para un análisis confiable y mucho más eficiente en cuestiones de tiempo ya que en estado normal tarda de 2 a 5 años en que se note la reacción antes mencionada. (Segarra, 2005)

CAPITULO II

3. METODOLOGÍA



El flujo de trabajo de estudio, se inició con una revisión bibliográfica, en la cual se utilizaron varios buscadores científicos como Scopus, Google Scholar, Redalyc, Redib, entre otros; estos buscadores se utilizaron con la finalidad de obtener información confiable en cuanto a la reacción álcali-sílice. Ya que estos buscadores arrojan demasiados artículos, se establecieron dos parámetros de búsqueda, los cuales fueron que sean publicados en la última década y que sus mediciones sean realizadas mediante el método de la barra de mortero; esto con la finalidad de facilitar tanto la realización de los ensayos así como que el conocimiento sea lo más actualizado posible. Además se realizó una búsqueda bibliográfica, acerca de los agregados pétreos utilizados durante el proceso, para determinar su composición química y tipo de roca.

En este estudio se realizaron varios ensayos, siendo los principales el ensayo de la barra de mortero, el cual mide la expansión de las barras de mortero, y el ensayo de fluorescencia de rayos x, en el cual se determinó los principales componentes de los cementos analizados.

Para la selección de las minas, se tomó como referencia las más utilizadas por los profesionales de la construcción, para la elaboración de hormigón dentro de la ciudad de Riobamba, las cuales son Mina de Cerro Negro y Mina de Rio Chambo. Esto se determinó en base a una inspección visual de las minas, con la que se constató la gran importancia de estas, de acuerdo a su volumen de ventas; razón por lo que se adquirió agregado grueso de estas, mismo que es utilizado en el hormigón estructural.

Como materiales cementantes, se utilizaron los más comunes dentro de la construcción de obras civiles en la ciudad como son el tipo IP y el tipo GU

El agua a utilizada es la proveniente de la red pública de agua potable de la ciudad de Riobamba.

Una vez adquirido el material, se procedió a la reducción de las muestras a tamaño de ensayo, tomando 2 muestras de agregado pétreo de cada mina, empleando el método de cuarteo como lo especifica la norma NTE INEN 0695.83, en la cual se indica que reducirá la muestra a tamaño de ensayo, mediante la técnica del cuarteo, la cual consiste en aplanar la muestra dividirla en cuatro y tomar los extremos, se debe repetir el ensayo hasta reducirla a tamaño de ensayo (INEN, 2010); mediante esta norma se extrajo 4 muestras de cada mina, esto con el fin de realizar 2 ensayos por cada mina y cada cemento, y así determinar la expansión del hormigón. Para realizar los ensayos se elaboró seis probetas con cada combinación posible entre agregados y material cementante, debido a que el presente es un estudio de caso, se consideró el doble de lo estipulado en la norma ASTM C 1567 – 08, en la que se establece un mínimo de tres probetas (ASTM, 2008), a manera de determinar la reactividad del material y si estos causan expansión en el hormigón, con el fin de tener menor dispersión de datos.

Para la elaboración de las probetas, se tomaran como moldes los expuestos en la norma ASTM C490-93 apéndice D, cuyas medidas internas deben ser (25 x25 x 285) mm (ASTM, 2010)

El agregado grueso fue triturado hasta que cumpla con la granulometría especificada en la norma ASTM C1567 – 08, donde especifica lo siguiente:

Tabla 3 Requerimientos de Granulometría de los áridos para la elaboración de las barras de mortero

Tamaño del Tamiz		
Pasando del Tamiz	Retenido en el Tamiz	Porcentaje Retenido %
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	10
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	25
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)	25
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)	25
300 µm (No. 50)	150 µm (No. 100)	10

Elaborado por: Villagómez C, Traducida de (ASTM, 2008)

El material triturado se lavó y tamizó nuevamente, para evitar contaminantes externos a la roca, como puede ser polvo obtenido durante el proceso de trituración. El mortero se elaboró en las siguientes proporciones cemento/agregado 1:2.25 tal y como lo sugiere la norma ASTM C1567 – 08 (ASTM, 2008) y la relación agua/cemento se estableció mediante el uso del ensayo de la mesa de flujo, esto acorde a lo indicado en la norma NTE INEN 2502 Determinación del flujo en morteros (INEN, 2009).

Una vez listo el mortero, este se llena en los moldes distribuido en 2 capas, tratando de que estas sean iguales, compactándolas con un pisón, procurando evitar que las esquinas queden sin compactar y sean puntos débiles en las barras, para esto se realizó una compactación homogénea por cada capa y se dejó caer el molde 10 veces desde una altura de 10 cm por cada esquina (Escobar, 2013).

Posteriormente las barras de mortero se enrasan al nivel del molde y se deja fraguar a la mezcla durante 120 minutos, y se la sumerge en agua durante 24 horas (ASTM, 2008).

Las barras se desencofran a las 24 horas e inmediatamente son colocadas en recipientes con agua herméticamente sellado y colocados al horno a una temperatura de $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 horas. Una vez sumergidas se tomará la lectura de la barra a las 48 horas, posterior a eso, se sumergirá la barra en una solución de hidróxido de sodio 1 molar puesta al horno a la misma temperatura $80^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Se siguió con las lecturas durante todos los días posibles hasta llegar a los 14 días recomendados por la norma ASTM C 1567 – 08 “Método estándar para la determinación de la potencial reactividad álcali – sílice de las combinaciones de materiales cementantes y agregados (método de la barra mortero acelerado)”(ASTM, 2008), para este ensayo se midió las probetas hasta el día 18 y 19 en algunos casos, para notar los cambios que ocurren en las probetas luego de la fecha límite.

Se considerará que existe materiales potencialmente reactivos, si la expansión ocasionada por este ensayo es superior al 0.1% al cabo de la medición del día 14 (ASTM, 2008).

La dosificación para la mezcla de hidróxido de sodio 1 molar será de 40 gramos de hidróxido de sodio [Na(OH)] y 960 cm³ de agua por cada litro de solución (ASTM, 2008).

En el presente estudio se analizó 24 probetas, tal y como se describe en la Tabla 4

Tabla 4 Numero de probetas elaboradas para el ensayo de álcali-sílice por el método acelerado de acuerdo a cada combinación

Numero de Probetas	Cemento tipo IP	Cemento tipo GU	Mina Rio Chambo	Mina Cerro Negro
6	x		x	
6	x			x
6		x	x	
6		x		x

Elaborado por: Villagómez C

CAPITULO III

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos del ensayo de Fluorescencia de rayos x realizado a una muestra de cemento de cada tipo, indican que los dos tipos de cemento son muy diferentes químicamente el uno del otro, además de que ciertos valores sobrepasan los valores establecidos por la norma NTE INEN 490 “Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos” esto se puede ver en la Tabla 5 y Tabla 6 donde se muestra los resultados de este ensayo, en los dos tipos de materiales cementantes, expresado en óxidos.

Tabla 5 Análisis químico elemental, como resultado del ensayo de Fluorescencia de rayos x expresado en óxidos, de la muestra 1

%	IP	GU
SiO₂	14.4	32.6
Al₂O₃	3.45	6.9
Fe₂O₃	2.25	3.2
CaO	64.5	48.25
MgO	0.875	1.31
SO₃	2.555	2.09
Na₂O	0.29	1.215
K₂O	0.345	1.135
TiO₂	0.195	0.28
C₃A ()	5.39	12.89
C₄AF ()	6.94	9.65
Puzolana ()	0	26.065
Yeso ()	5.49	4.495
CALIZA (%)	32	
PPC	12.01	

Elaborado por: Villagómez C.

Tabla 6 Análisis químico elemental, como resultado del ensayo de Fluorescencia de rayos x expresado en óxidos, de la muestra 2

CEMENTO			
	IP		GU
CaO (%)	45.8000	CaO (%)	45.1000
SiO2 (%)	25.3000	SnO2 (%)	20.1000
Al2O3 (%)	7.3100	SiO2 (%)	14.1000
Sb2O3 (%)	6.8500	MgO (%)	8.1300
MgO (%)	4.5000	Al2O3 (%)	7.0100
Fe2O3 (%)	3.5600	Fe2O3 (%)	1.6900
P2O5 (%)	1.6900	S (%)	1.5000
S (%)	1.5100	P2O5 (%)	1.1500
SnO2 (%)	1.3900	Co3O4 (%)	0.4190
K2O (%)	1.3300	K2O (%)	0.4020
TiO2 (%)	0.2610	TiO2 (%)	0.2180
NiO (%)	0.1340	MnO (%)	0.0533
Sr (%)	0.1080		
MnO (%)	0.0992		
Co3O4 (%)	0.0855		
Cr3O3 (%)	0.0424		
CuO (%)	0.0335		
ZnO (%)	0.0142		

Nota. Fuente: Velásquez, J. (2018). Reacción álcali – carbonato, perjudicial para el acero del hormigón armado, utilizando agregados pétreos de las minas, Cerro Negro y Rio Chambo (p. 27). Riobamba. Ecuador. Universidad Nacional de Chimborazo

Estos ensayos muestran que el cemento tipo GU, no cumple con ciertos parámetros impuestos por la norma NTE INEN 490 “Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos”, siendo las más importantes para este análisis, tanto los álcalis (Na, K) como los alcalinotérreos (Mg); donde se evidencia que en primer análisis sobrepasa la cantidad de álcalis permitido para este tipo de cemento (2%) siendo en este caso 2.25%; mientras que en el segundo ensayo sobrepasa la cantidad de magnesio (6%) teniendo un 8.13% (INEN, 2011). Con estos datos se puede decir que un tipo de cemento es más propenso a la expansión, debido a la reacción álcali – sílice (Taylor, 2004).

Teniendo como precedente que varios tipos de rocas pueden generar o provocar la reacción expansiva álcali – sílice (Segarra, 2005), en el estudio realizado por Velasquez 2018, sobre la

reacción álcali – carbonato, se determinó los componentes y compuestos químicos de los agregados pétreos de ambas minas, como lo describe la Tabla 7 y Tabla 8 respectivamente.

Tabla 7 Ensayo mineralógico elemental de los agregados

Mina Cerro Negro		Mina Rio Chambo	
Agregado Grueso		Agregado Grueso	
Componente	Porcentaje (%)	Componente	Porcentaje (%)
<i>SiO₂</i>	55.200	<i>SiO₂</i>	50.800
<i>Al₂O₃</i>	15.300	<i>Al₂O₃</i>	13.900
<i>CaO</i>	4.170	<i>CaO</i>	4.180
<i>Fe₂O₃</i>	2.240	<i>Fe₂O₃</i>	3.460
<i>SnO₂</i>	1.840	<i>MgO</i>	3.130
<i>K₂O</i>	1.110	<i>SnO₂</i>	2.000
<i>Ca₃O₄</i>	0.561	<i>Ca₃O₄</i>	0.847
<i>TiO₂</i>	0.398	<i>TiO₂</i>	0.563
<i>Sb₂O₃</i>	0.257	<i>K₂O</i>	0.556
<i>MnO</i>	0.101	<i>Sb₂O₃</i>	0.257
<i>CeO₂</i>	0.073	<i>CeO₂</i>	0.148
<i>Ta₂O₅</i>	0.033	<i>MnO</i>	0.142
		<i>Cr₂O₃</i>	0.053
		<i>HfO₂</i>	0.041

Elaborado por: Villagómez C, Adaptado de: (Velásquez, 2018)

Tabla 8 Difracción de rayos X de los agregados pétreos de Cerro Negro y Rio Chambo

Agregado Grueso de la mina Cerro Negro		
Nombre del Compuesto	Formula Química	Porcentaje (%)
Labradorita	$Al_{0.83} Ca_{0.34} Na_{0.15} O_4 Si_{1.17}$	71.50
Andesita	$Al_2 Ca O_8 Si_2$	14.70
Anortita	$Al_{0.735} Ca_{0.24} Na_{0.26} O_4 Si_{1.265}$	13.80
Agregado Grueso de la mina Rio Chambo		
Nombre del Compuesto	Formula Química	Porcentaje (%)
Labradorita	$Al_{0.83} Ca_{0.34} Na_{0.15} O_4 Si_{1.17}$	54.90
Albita	$Al Na O_8 Si_2$	26.00
Titanita	$Al Ca F O_4 Si$	2.30
Hexasilicato circonio dicesio	$(Zr Si_6 O_{15})Cs_2$	10.00
-----	$Ga_4 O_{48} Ti_{21}$	6.80

Elaborado por: Villagómez C, Adaptado de: (Velásquez, 2018)

En la Tabla 7 se evidencia que tanto el material pétreo de Cerro Negro como el de Río Chambo tienen grandes cantidades de sílice en su composición química, por lo cual podrían favorecer a la expansión ocasionada por la reacción álcali – sílice (Witt & et al., 2015), mientras que Tabla 8 muestra que las rocas de Cerro Negro tienen en su composición un 14.70% de Andesita, roca que facilita la reacción álcali – sílice (Segarra, 2005).

Teniendo como referencia los datos antes mencionados, tanto de los materiales cementantes como de los agregados pétreos a utilizar durante el ensayo de la barra de mortero de acuerdo a la norma ASTM C1567 – 08. Se inició con la granulometría de acuerdo a lo sugerido por la norma INEN 696 “Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso”, de los materiales pétreos tal y

como se muestra en la Tabla 9. En donde se tamizo 10 kilogramos de material por cada mina (INEN, 2011)

Tabla 9 Resumen del ensayo Granulométrico de los agregados pétreos

TAMICES	Mina Cerro Negro % Pasa	Mina Rio Chambo % Pasa
1 1/2	100.00%	100.00%
1	79.94%	93.70%
3/4	58.90%	84.36%
1/2	31.38%	55.82%
3/8	15.24%	39.71%
# 4	1.86%	15.84%
# 8	0.85%	7.71%
Bandeja	0.00%	0.00%

Elaborado por: Villagómez C.

Para el ensayo de la barra de mortero, el material pétreo se debe triturar, por lo que cumpliendo lo dicho por la norma ASTM C1567 – 08, se lo dejo en porcentajes y tamaños indicados anteriormente. Una vez triturado el material se realizó el ensayo de la mesa de flujo de acuerdo a la norma NTE INEN 2502, esto para determinar la cantidad adecuada de agua para cada mina, esto en base a la fluidez del mortero la cual para este ensayo se consideró al 110% (INEN, 2009), obteniéndose los valores mostrados a continuación en la Tabla 10 y Tabla 11, los resultados de cada ensayo se muestran en el Anexo 1

Tabla 10 Fluidez con agregados de Río Chambo

Mina Río Chambo	
Primera medición	
a/c	Fluidez Promedio
0.47	104.15
0.50	105.38
0.53	115.68
0.55	118.65
Segunda medición	
a/c	Fluidez Promedio
0.50	111.00
0.52	109.50
Tercera medición	
a/c	Fluidez Promedio
0.47	104.50
0.49	111.25

Elaborado por: Villagómez C.

Tabla 11 Fluidez con agregados de Cerro Negro

Mina Cerro Negro	
Primera medición	
a/c	Fluidez Promedio
0.47	103.25
0.50	106.00
0.53	108.00
0.55	113.00
Segunda medición	
a/c	Fluidez Promedio
0.50	108.00
0.52	109.75

Elaborado por: Villagómez C.

A pesar de la que la norma ASTM C1567 – 08 recomienda trabajar con un a/c de 0.47, al realizar el ensayo de la fluidez del mortero de acuerdo a la norma NTE INEN 2502, se pudo verificar que la trabajabilidad del mortero no era la adecuada, por lo cual se adoptó los valores de 0.50 y 0.52 para la mina de Río Chambo y Cerro Negro respectivamente, ya que a estas relaciones se obtuvo una fluidez adecuada para cada mina a estudiar. Se puede observar que la mina de Cerro Negro tiene una mayor relación a/c en relación a la mina de Río Chambo, esto se debe principalmente a dos motivos, a que el agregado de Cerro Negro tiene una mayor cantidad de poros en comparación al de Río Chambo (Calvopiña y Cubiña, 2018), y que el agregado de Cerro negro tiene una mayor cantidad de sodio en su composición química (Velásquez, 2018).

Una vez realizados los ensayos pertinentes se dosificó las barras de mortero, para cada tipo de mina tal y como lo muestran la Tabla 12 y Tabla 13

Tabla 12 Dosificación barra de mortero Mina Rio Chambo

Dosificación Rio Chambo (gr)	
Relación a/c	0.50
Cemento	380.0
Agua	190.0
Retenido # 8	85.5
Retenido # 16	213.7
Retenido # 30	213.7
Retenido # 50	213.7
Retenido # 100	128.2

Elaborado por: Villagómez C.

Tabla 13 Dosificación barra de mortero mina Cerro Negro

Dosificación Cerro Negro (gr)	
Relación a/c	0.52
Cemento	380.0
Agua	197.6
Retenido # 8	85.5
Retenido # 16	213.7
Retenido # 30	213.7
Retenido # 50	213.7
Retenido # 100	128.2

Elaborado por: Villagómez C.

La dosificación indicada en la Tabla 12 y Tabla 13, fue la utilizada para la preparación de mortero de 3 probetas, cumpliendo además con lo establecido en la norma ASTM C1567 – 08, donde especifica que se dará un curado a las probetas dentro de sus moldes durante 24 horas, en el presente estudio se analizaron 24 probetas obteniéndose los siguientes resultados presentados de acuerdo a la siguiente ecuación. (ASTM, 2008)

$$\Delta L = \left[\frac{(Lx - Li)}{Li} \right] x 100$$

En donde:

- ΔL = cambio de longitud a la edad x, en %
- Lx = Lectura de la barra de mortero a la edad x
- Li = Lectura inicial de la barra.

En la Tabla 14 se puede observar que hay una diferencia considerable entre la expansión ocasionada entre uno y otro tipo de cemento, pero cuando se trata del mismo tipo de cemento y diferente mina la diferencia es menor, aunque en ambos casos tiene una mayor expansión las barras de mortero elaboradas con material pétreo proveniente de la mina Cerro Negro. Los detalles de cada probeta se encuentran en el Anexo 2.

Tabla 14 Valores medios de los resultados obtenidos del ensayo de la barra de mortero

Dia	% de expansión			
	Rio Chambo IP	Cerro Negro IP	Rio Chambo GU	Cerro Negro GU
1	0.0018	0.0009	0.0053	0.0117
2	-	-	0.0135	-
3	0.0102	-	0.0038	0.0548
4	0.0096	0.0085	0.0208	0.0576
5	0.0111	0.0172	0.0608	0.0693
6	0.0210	0.0211	0.0858	0.0797
7	0.0266	0.0239	0.0863	-
8	-	0.0267	-	-
9	-	0.0286	-	-
10	0.0272	-	0.1860	0.1967
11	0.0260	0.0346	0.1848	0.1989
12	0.0321	0.0436	0.2242	0.2063
13	0.0314	0.0412	0.2604	0.2102
14	0.0324	0.0532	0.2636	0.2167
15	0.0386	-	0.2748	-
16	-	-	0.2921	-
17	0.0574	-	0.2516	0.3058
18	0.0552	0.0554	0.2692	0.3080

Elaborado por: Villagómez C

En la figura 1 se puede comprobar, que la expansión provocada por los agregados pétreos de la mina Cerro Negro y Río Chambo, analizadas con cemento tipo IP, es menor a la establecida por la norma ASTM C1567 – 08, la cual considera como material posiblemente reactivo a las minas que ocasionen una expansión mayor a 0.1% (ASTM, 2008).

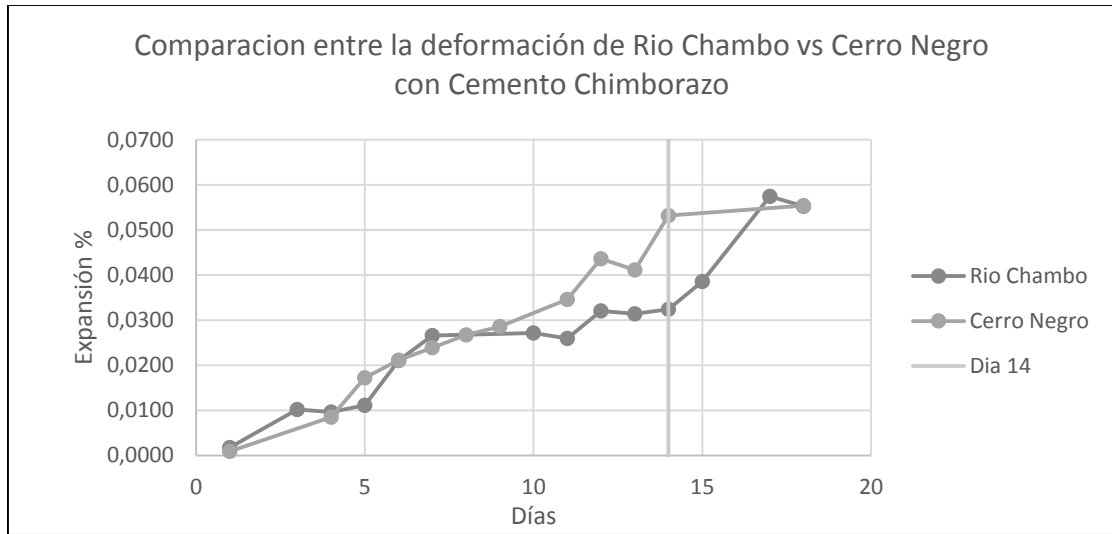


Figura 1 Comparación entre la deformación de Rio Chambo vs Cerro Negro con cemento tipo IP

Elaborado por: Villagómez C

En la figura 2 se observa, que la expansión provocada por los agregados pétreos de la mina Cerro negro y Rio chambo, analizadas con cemento tipo GU, es mayor a la establecida por la norma citada en el párrafo anterior.

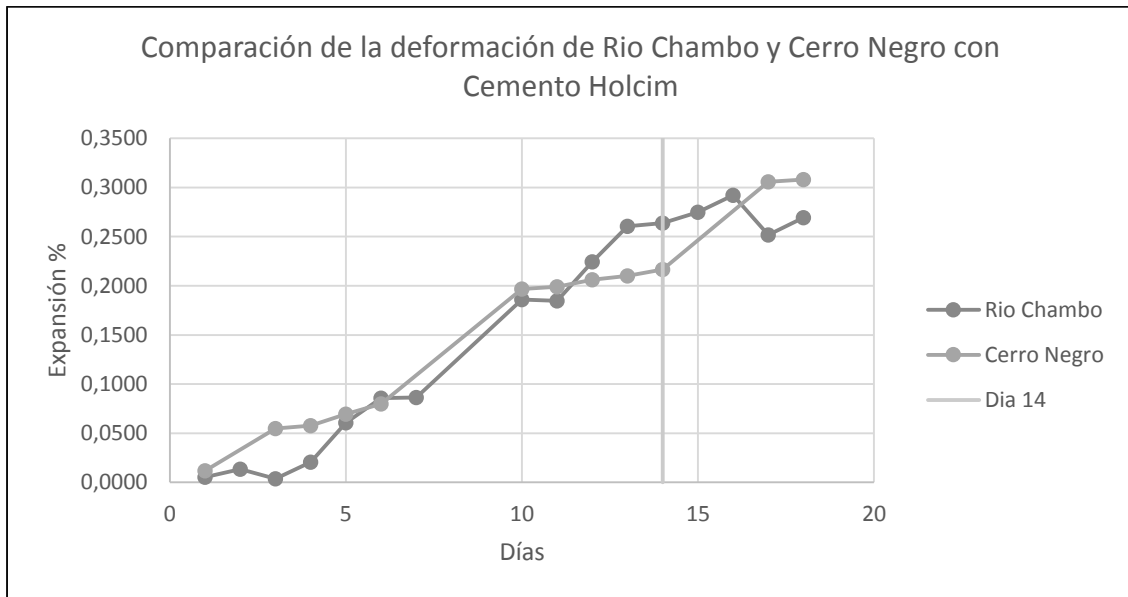


Figura 2 Comparación entre la deformación de Rio Chambo vs Cerro Negro con cemento tipo GU

Elaborado por: Villagómez C

En la figura 3 y 4 se puede observar, que la diferencia en la expansión entre los dos tipos de cemento, IP y GU, es muy amplia, a tal punto, que en ambos casos la expansión ocasionada por el cemento tipo GU sobrepasa el límite establecido por la norma ASTM C 1567 – 08.

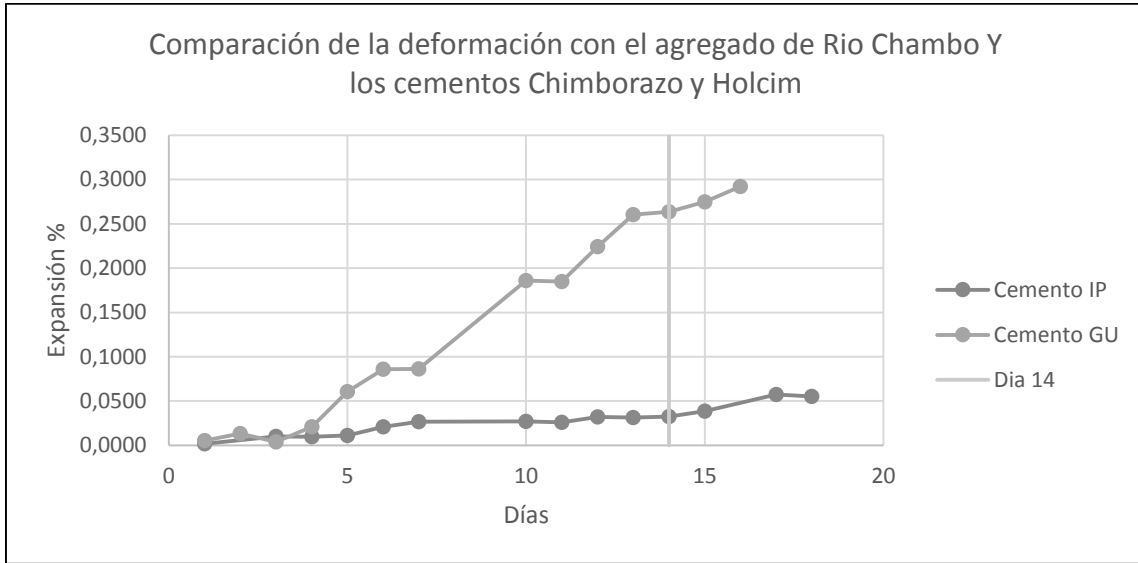


Figura 3 Comparación entre la deformación de cemento tipo IP y tipo GU con material de Rio Chambo

Elaborado por: Villagómez C

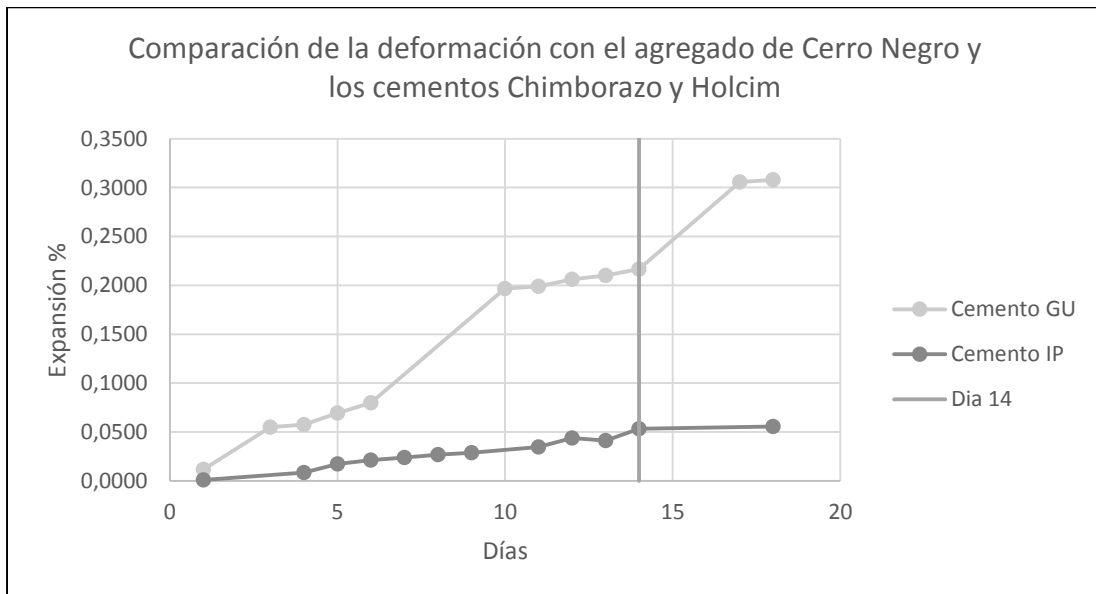


Figura 4 Comparación entre la deformación de cemento tipo IP y tipo GU con material de Cerro Negro

Elaborado por: Villagómez C

5. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

De los resultados obtenidos se puede establecer las siguientes conclusiones:

- El ensayo de la barra de mortero, aplicado de manera acelerada según la norma ASTM C1567 – 08, demuestra que las probetas analizadas con cemento tipo GU, tienen una expansión superior al límite establecido por las normas tanto ecuatorianas como americanas
- De la bibliografía consultada en cuanto se refiere a la composición química de los agregados, demuestra que las minas de Río Chambo y Cerro Negro son susceptibles a la reacción álcali – sílice, esto debido a la gran cantidad de sílice presente, siendo la última mina la más propensa a esta reacción, ya que su composición química demuestra que es potencialmente reactiva al ser una andesita.
- Los ensayos de fluorescencia de rayos x indican que la muestra de cemento tipo GU, supera los límites permitidos en los componentes químicos que causan la reacción álcali – sílice.

6.2. Recomendaciones

- Obtener diferentes valores de la composición química en cada ensayo realizado en los cementos, se recomienda un análisis más profundo de este tema a fin de esclarecer algunas dudas existentes.
- Teniendo en cuenta que la reacción álcali – sílice si esta potencialmente presente en estas mezclas, se recomienda analizar la afectación a la resistencia a la compresión del hormigón.

6. REFERENCIAS:

- ASTM (2008) A. S. for T. and M. Standart Test Method for Determining the Potencial Alkali-Silica Reactivity of Combinations of Cementitious Materials and Aggregate (Accelerated Mortar-Bar Method). Pub L No C1567
- ASTM (2010) A. S. for T. and M. Standart Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concret. Pub L No C490
- Calvopiña, O. & Cubiña P. (2018). *Porosidad, resistencia a compresión y flexión en hormigones preparados con agregados locales; estudio comparativo mina cerro negro y Rio Chambo (Tesis de Pregrado)*. Riobamba, Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Escobar, F. (2013). *Reactividad potencial álcali sílice de las combinaciones de materiales cementantes y agregados método de la barra de mortero (Tesis de Pregrado)*. Quito, Ecuador: Escuela Politecnica del Ecuador.
- Gadea, J., Soriano, J., Martín, A., Campos, P. L., Rodríguez, A., Junco, C., Calderón, V. (2010). Reactividad árido-álcali en áridos empleados para hormigón. *Materiales de Construcción*, 60(299), 69–78. <http://doi.org/10.3989/mc.2010.48708>
- Gautam, B. P., Panesar, D. K., Sheikh, S. A., & Vecchio, F. J. (2017). Effect of coarse aggregate grading on the ASR expansion and damage of concrete. *Cement and Concrete Research*, 95, 75–83. <http://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.022>
- Hafçi, A. (2013). *Effect of alkali-silica reaction expansion on mechanical properties of concrete (Tesis de Postgrado)*. Ankara, Turquia: Middle East Technical University

- INEN. (2009). NTE INEN 867:2009 Áridos para hormigón. Determinación de la reactividad alcalina potencial de combinaciones áridos-cemento (Método de la barra de mortero), 0867.
- INEN. (2011). NTE INEN 696. Análisis granulométrico en los áridos, fino y grueso. In *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (pp. 1-12). Quito
- INEN. (2009). NTE INEN 2502. Cemento Hidráulico. Determinación del flujo de morteros. In *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (pp. 1-9). Quito
- INEN. (2011). NTE INEN 490. Cementos hidráulicos compuestos. Requisitos. In *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (pp. 1-10). Quito
- INEN. (2010). NTE INEN 695. Áridos. Muestreo. In *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (pp. 1-14). Quito
- INEN. (2011). NTE INEN 872. Áridos para hormigón. Requisitos. In *Instituto Ecuatoriano de Normalización* (pp. 1-17). Quito
- Martínez, R. (2015). Deterioro y reparación del hormigón. *MyPhor*.
- Ministerio de Recursos Naturales y Energeticos del Ecuador (1982). [National Geological Map of de Republic of Ecuador]. Recuperado el 10 de Marzo, 2019, de: http://library.wur.nl/isric/kaart/origineel/EC12005_GE.jpg
- Sánchez de Guzmán, D (2006) *Durabilidad y Patología del Concreto*, Asociación Colombiana de Productores de Concreto. Colombia, Segunda Reimpresión

- Segarra, J. (2005). *Envejecimiento de presas por reacciones expansivas en el hormigón (Tesis de Pregrado)*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya Barcelonatech
- Taylor, H., (2004). *Cement chemistry*, New York, USA: Thomas Telford
- Valls, S. (2013) *Durabilidad del hormigón en base a las reacciones de expansión endógenas*
- Velasquez, J. (2018). *Reactividad alcali carbonato, perjudicial para el acero del hormigon armado, utilizando agregados petreos de mas minas Cerro Negro y Rio Chambo (Tesis de Pregrado)*. Riobamba, Ecuador: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Witt, J., Gonell, F. & Costa, A. (2013). *Efecto de la Reacción alcali – silice en el hormigón (Tesis de Postgrado)*. Barcelona, España: Universidad Politècnica de Catalunya.

7. ANEXOS:

Anexo 1 Mesa de Flujo: Mediciones

Tabla 15 Mesa de Flujo con agregados de Rio Chambo

RIO CHAMBO					
MEDICION 1					
Relación a/c	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Promedio
0.47	103.1	104	104.8	104.7	104.15
0.5	105.2	105.4	105.7	105.2	105.375
0.53	116.2	115.8	116.1	114.6	115.675
0.55	118.3	118.7	118.8	118.8	118.65
MEDICION 2					
Relación a/c	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Promedio
0.5	111	110	112	111	111
0.52	109	109	111	109	109.5
MEDICION 3					
Relación a/c	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Promedio
0.47	104	106	104	104	104.5
0.49	112	110	111	112	111.25

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 16 Mesa de Flujo con agregados de Cerro Negro

CERRO NEGRO					
MEDICION 1					
Relación a/c	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Promedio
0.47	104	103	103	103	103.25
0.49	106	106	107	105	106
0.51	108	108	108	108	108
0.53	114	113	112	113	113
MEDICION 2					
Relación a/c	Medición 1	Medición 2	Medición 3	Medición 4	Promedio
0.5	108	109	108	107	108
0.52	111	109	108	111	109.75

Elaborado por: Villagómez C

Anexo 2 Expansión de las probetas estudiadas

Tabla 17 Mediciones de Expansión Probeta 1

Probeta 1							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	285.21	285.04	284.96	285.09	285.075		
1	285.23	285.04	284.95	285.10	285.080	0.005	0.0018
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	285.24	284.99	285.12	285.08	285.108	0.033	0.0114
5	285.22	285.00	284.99	285.15	285.090	0.015	0.0053
6	285.34	285.08	284.95	285.14	285.128	0.052	0.0184
7	285.34	285.08	285.00	285.23	285.163	0.088	0.0307
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	285.35	285.05	285.02	285.16	285.145	0.070	0.0246
12	285.38	285.07	285.09	285.21	285.188	0.113	0.0395
13	285.41	285.07	285.09	285.23	285.200	0.125	0.0438
14	285.41	285.06	285.07	285.21	285.188	0.113	0.0395
15	285.43	285.05	285.06	285.22	285.190	0.115	0.0403
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	285.46	285.13	285.14	285.27	285.250	0.175	0.0614

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 18 Mediciones de Expansión Probeta 2

Probeta 2							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	285.07	284.97	284.96	285.11	285.028		
1	285.08	284.97	284.97	285.11	285.033	0.005	0.0018
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	285.07	284.91	284.99	285.05	285.005	-0.023	-0.0079
5	285.17	284.91	284.96	284.97	285.003	-0.025	-0.0088
6	285.17	284.98	285.16	285.10	285.103	0.075	0.0263
7	285.15	284.96	285.17	285.18	285.115	0.087	0.0307
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	285.21	284.94	285.09	285.15	285.098	0.070	0.0246
12	285.29	284.89	285.12	285.13	285.108	0.080	0.0281
13	285.22	284.89	285.09	285.17	285.093	0.065	0.0228
14	285.25	284.93	285.17	285.16	285.128	0.100	0.0351
15	285.21	285.01	285.22	285.23	285.168	0.140	0.0491
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	285.28	285.00	285.13	285.26	285.168	0.140	0.0491

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 19 Mediciones de Expansión Probeta 3

Probeta 3							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.71	285.04	284.84	284.80	284.848		
1	284.71	285.08	284.82	284.80	284.853	0.005	0.0018
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	284.69	285.21	284.67	284.86	284.858	0.010	0.0035
5	284.78	285.13	284.69	284.83	284.858	0.010	0.0035
6	284.85	285.15	284.72	284.87	284.898	0.050	0.0175
7	284.86	285.14	284.75	284.85	284.900	0.053	0.0184
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	284.78	285.26	284.79	284.82	284.913	0.065	0.0228
12	284.93	285.17	284.80	284.90	284.950	0.103	0.0360
13	284.88	285.15	284.75	284.95	284.933	0.085	0.0298
14	284.85	285.16	284.74	284.92	284.918	0.070	0.0246
15	284.88	285.15	284.75	284.91	284.923	0.075	0.0263
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	284.90	285.14	284.80	285.00	284.960	0.113	0.0395

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 20 Mediciones de Expansión Probeta 4

Probeta 4							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.40	284.33	284.60	284.57	284.475		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.40	284.55	284.52	284.59	284.515	0.040	0.0140
4	284.58	284.48	284.59	284.60	284.563	0.087	0.0307
5	284.54	284.60	284.54	284.60	284.570	0.095	0.0333
6	284.54	284.58	284.60	284.50	284.555	0.080	0.0281
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	284.54	284.52	284.57	284.53	284.540	0.065	0.0228
11	284.67	284.44	284.56	284.58	284.563	0.087	0.0307
12	284.40	284.52	284.59	284.66	284.543	0.067	0.0237
13	284.43	284.51	284.61	284.66	284.553	0.077	0.0272
14	284.42	284.49	284.65	284.66	284.555	0.080	0.0281
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	284.67	284.48	284.70	284.70	284.638	0.163	0.0570
18	284.65	284.60	284.72	284.69	284.665	0.190	0.0666

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 21 Mediciones de Expansión Probeta 5

Probeta 5							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.52	284.55	284.55	284.48	284.525		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.54	284.42	284.55	284.66	284.543	0.018	0.0061
4	284.52	284.53	284.65	284.46	284.540	0.015	0.0053
5	284.60	284.68	284.61	284.43	284.580	0.055	0.0193
6	284.71	284.66	284.57	284.42	284.590	0.065	0.0228
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	284.70	284.59	284.67	284.50	284.615	0.090	0.0316
11	284.65	284.58	284.69	284.49	284.603	0.078	0.0272
12	284.70	284.54	284.70	284.54	284.620	0.095	0.0333
13	284.68	284.54	284.73	284.53	284.620	0.095	0.0333
14	284.69	284.59	284.67	284.55	284.625	0.100	0.0351
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	284.68	284.65	284.74	284.69	284.690	0.165	0.0579
18	284.71	284.63	284.74	284.70	284.695	0.170	0.0596

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 22 Mediciones de Expansión Probeta 6

Probeta 6							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.59	284.49	284.39	284.53	284.500		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.69	284.54	284.45	284.44	284.530	0.030	0.0105
4	284.58	284.44	284.52	284.63	284.543	0.043	0.0149
5	284.52	284.48	284.60	284.56	284.540	0.040	0.0140
6	284.45	284.46	284.62	284.62	284.538	0.038	0.0132

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 23 Mediciones de Expansión Probeta 7

Probeta 7							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.42	284.15	284.17	284.30	284.260		
1	284.44	284.16	284.22	284.22	284.260	0.000	0.0000
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	284.49	284.19	284.19	284.34	284.303	0.043	0.0150
6	284.45	284.20	284.18	284.35	284.295	0.035	0.0123
7	284.49	284.16	284.17	284.41	284.308	0.048	0.0167
8	284.50	284.16	284.19	284.34	284.298	0.038	0.0132
9	284.49	284.16	284.26	284.41	284.330	0.070	0.0246
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	284.68	284.22	284.25	284.45	284.400	0.140	0.0493
13	284.52	284.26	284.31	284.51	284.400	0.140	0.0493
14	284.54	284.29	284.30	284.48	284.403	0.143	0.0501
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-
19	284.65	284.38	284.40	284.59	284.505	0.245	0.0862

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 24 Mediciones de Expansión Probeta 8

Probeta 8							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.40	284.11	284.10	284.20	284.203		
1	284.41	284.13	284.14	284.20	284.220	0.017	0.0062
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	284.43	284.16	284.12	284.33	284.260	0.058	0.0202
6	284.48	284.13	284.10	284.35	284.265	0.063	0.0220
7	284.48	284.17	284.13	284.35	284.283	0.080	0.0281
8	284.49	284.20	284.14	284.34	284.293	0.090	0.0317
9	284.49	284.19	284.16	284.34	284.295	0.093	0.0325
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	284.56	284.22	284.18	284.43	284.348	0.145	0.0510
13	284.54	284.24	284.19	284.42	284.348	0.145	0.0510
14	284.56	284.26	284.25	284.38	284.363	0.160	0.0563
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-
19	284.67	284.35	284.32	284.51	284.463	0.260	0.0915

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 25 Mediciones de Expansión Probeta 9

Probeta 9							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.40	284.14	284.30	284.24	284.270		
1	284.40	284.30	284.14	284.20	284.260	-0.010	-0.0035

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 26 Mediciones de Expansión Probeta 10

Probeta 10							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.33	284.41	284.21	284.15	284.275		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	284.36	284.47	284.28	284.18	284.323	0.048	0.0167
5	284.35	284.47	284.21	284.18	284.303	0.028	0.0097
6	284.36	284.50	284.20	284.14	284.300	0.025	0.0088
7	284.41	284.40	284.30	284.14	284.313	0.038	0.0132
8	284.40	284.54	284.24	284.14	284.330	0.055	0.0193
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	284.49	284.48	284.24	284.21	284.355	0.080	0.0281
12	284.45	284.51	284.27	284.28	284.378	0.103	0.0361
13	284.45	284.50	284.25	284.29	284.373	0.098	0.0343
14	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	284.54	284.55	284.29	284.33	284.428	0.153	0.0536

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 27 Mediciones de Expansión Probeta 11

Probeta 11							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.41	284.33	284.48	284.63	284.463		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	284.44	284.36	284.50	284.64	284.485	0.023	0.0079
5	284.52	284.43	284.48	284.69	284.530	0.068	0.0237
6	284.53	284.47	284.52	284.65	284.543	0.080	0.0281
7	284.53	284.42	284.54	284.67	284.540	0.078	0.0273
8	284.52	284.45	284.56	284.67	284.550	0.088	0.0308
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	284.57	284.51	284.56	284.69	284.583	0.120	0.0422
12	284.61	284.51	284.59	284.70	284.603	0.140	0.0493
13	284.57	284.48	284.57	284.70	284.580	0.118	0.0413
14	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	284.60	284.51	284.68	284.76	284.638	0.175	0.0616

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 28 Mediciones de Expansión Probeta 12

Probeta 12							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.44	284.50	284.22	284.20	284.340		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	284.45	284.50	284.20	284.22	284.343	0.002	0.0009
5	284.45	284.51	284.30	284.30	284.390	0.050	0.0176
6	284.44	284.55	284.42	284.34	284.438	0.097	0.0343
7	284.53	284.54	284.31	284.37	284.438	0.097	0.0343
8	284.49	284.56	284.42	284.33	284.450	0.110	0.0387
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	284.50	284.58	284.30	284.36	284.435	0.095	0.0334
12	284.46	284.59	284.32	284.36	284.433	0.092	0.0325
13	284.48	284.57	284.30	284.35	284.425	0.085	0.0299
14	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	284.53	284.64	284.37	284.40	284.485	0.145	0.0510

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 29 Mediciones de Expansión Probeta 13

Probeta 13							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.35	284.72	284.47	284.35	284.473		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.37	284.73	284.49	284.36	284.488	0.015	0.0053
4	284.37	284.77	284.52	284.39	284.513	0.040	0.0141
5	284.44	284.80	284.71	284.42	284.593	0.120	0.0422
6	284.52	284.92	284.71	284.48	284.658	0.185	0.0650
7	284.55	284.92	284.71	284.53	284.678	0.205	0.0721
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	284.91	285.25	284.95	284.91	285.005	0.533	0.1872
11	284.85	285.24	284.98	284.85	284.980	0.507	0.1784
12	284.90	285.25	285.03	284.89	285.018	0.545	0.1916
13	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	285.13	285.47	285.18	285.05	285.208	0.735	0.2584
18	285.17	285.51	285.57	285.03	285.320	0.847	0.2979

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 30 Mediciones de Expansión Probeta 14

Probeta 14							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.49	284.68	284.41	284.45	284.508		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.51	284.70	284.39	284.40	284.500	-0.008	-0.0026
4	284.63	284.71	284.48	284.55	284.593	0.085	0.0299
5	284.61	284.75	284.55	284.59	284.625	0.117	0.0413
6	284.73	284.85	284.65	284.61	284.710	0.202	0.0712
7	284.75	284.89	284.69	284.70	284.758	0.250	0.0879
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	285.11	285.20	284.95	284.95	285.053	0.545	0.1916
11	285.03	285.23	284.96	285.02	285.060	0.552	0.1942
12	285.03	285.21	284.91	285.01	285.040	0.532	0.1872
13	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	285.19	285.40	285.07	285.17	285.208	0.700	0.2461
18	285.24	285.44	285.20	285.11	285.248	0.740	0.2601

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 31 Mediciones de Expansión Probeta 15

Probeta 15							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.55	284.78	284.51	284.48	284.580		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.59	284.80	284.53	284.50	284.605	0.025	0.0088
4	284.60	284.81	284.55	284.57	284.633	0.053	0.0185
5	284.57	284.89	284.60	284.58	284.660	0.080	0.0281
6	284.72	284.96	284.58	284.71	284.743	0.163	0.0571
7	284.76	284.97	284.63	284.69	284.763	0.183	0.0642
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	285.08	285.31	284.93	285.04	285.090	0.510	0.1793
11	284.97	285.31	285.03	285.08	285.098	0.517	0.1819
12	285.07	285.33	285.02	285.08	285.125	0.545	0.1916
13	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	285.24	285.55	285.18	285.20	285.293	0.713	0.2505
18	285.22	285.54	285.21	285.19	285.290	0.710	0.2496

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 32 Mediciones de Expansión Probeta 16

Probeta 16							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.38	284.49	284.30	284.26	284.358		
1	284.38	284.51	284.33	284.25	284.368	0.010	0.0035
2	284.40	284.53	284.33	284.27	284.383	0.025	0.0088
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	284.69	284.36	284.50	284.59	284.535	0.177	0.0624
6	284.66	284.83	284.58	284.63	284.675	0.317	0.1116
7	284.73	284.83	284.58	284.56	284.675	0.317	0.1116
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	285.04	285.26	285.01	285.05	285.090	0.732	0.2575
13	285.02	285.31	285.06	284.96	285.088	0.730	0.2566
14	285.17	285.34	285.08	284.98	285.143	0.785	0.2759
15	285.18	285.40	285.10	285.03	285.178	0.820	0.2883
16	285.21	285.42	285.10	285.39	285.280	0.922	0.3243
17	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-
19	285.35	285.56	285.29	285.19	285.348	0.990	0.3480

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 33 Mediciones de Expansión Probeta 17

Probeta 17							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.88	284.29	284.72	284.74	284.658		
1	284.91	284.30	284.71	284.75	284.668	0.010	0.0035
2	284.91	284.34	284.73	284.79	284.693	0.035	0.0123
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	285.19	284.55	284.93	284.98	284.913	0.255	0.0896
6	285.20	284.71	284.93	285.06	284.975	0.317	0.1116
7	285.19	284.62	284.92	284.93	284.915	0.257	0.0905
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	285.65	285.10	285.44	285.48	285.418	0.760	0.2672
13	285.62	285.21	285.35	285.44	285.405	0.747	0.2628
14	285.65	285.22	285.36	285.45	285.420	0.762	0.2680
15	285.69	285.23	285.40	285.50	285.455	0.798	0.2803
16	285.74	285.19	285.40	285.50	285.458	0.800	0.2812
17	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-
19	285.84	285.37	285.52	285.62	285.588	0.930	0.3269

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 34 Mediciones de Expansión Probeta 18

Probeta 18							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.42	284.41	284.39	284.52	284.435		
1	284.44	284.45	284.40	284.55	284.460	0.025	0.0088
2	284.46	284.47	284.43	284.60	284.490	0.055	0.0193
3	-	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-	-
5	284.67	284.71	284.66	284.85	284.723	0.287	0.1011
6	284.74	284.68	284.57	284.87	284.715	0.280	0.0984
7	284.73	284.66	284.57	284.82	284.695	0.260	0.0914
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-
12	285.15	285.08	285.05	285.31	285.148	0.712	0.2505
13	285.19	285.06	285.09	285.38	285.180	0.745	0.2619
14	285.16	285.05	285.03	285.31	285.138	0.702	0.2469
15	285.18	285.08	285.04	285.35	285.163	0.728	0.2557
16	285.23	285.10	285.10	285.39	285.205	0.770	0.2707
17	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-
19	285.30	285.19	285.17	285.52	285.295	0.860	0.3023

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 35 Mediciones de Expansión Probeta 19

Probeta 19							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.51	284.36	284.04	284.03	284.235		
1	284.52	284.43	284.06	284.09	284.275	0.040	0.0141
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	284.61	284.54	284.18	284.16	284.373	0.138	0.0484
5	284.61	284.57	284.19	284.21	284.395	0.160	0.0563
6	284.58	284.57	284.21	284.26	284.405	0.170	0.0598
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	284.86	284.92	284.52	284.57	284.718	0.482	0.1698
12	284.95	284.96	284.62	284.69	284.805	0.570	0.2005
13	284.91	284.93	284.56	284.68	284.770	0.535	0.1882
14	284.91	284.93	284.56	284.58	284.745	0.510	0.1794
15	284.99	285.01	284.66	284.67	284.833	0.598	0.2102
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	285.17	285.14	284.78	284.82	284.978	0.742	0.2612

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 36 Mediciones de Expansión Probeta 20

Probeta 20							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.52	284.15	283.84	284.02	284.133		
1	284.50	284.14	283.91	284.02	284.143	0.010	0.0035
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	284.65	284.29	284.03	284.23	284.300	0.168	0.0589
5	284.66	284.35	284.11	284.25	284.343	0.210	0.0739
6	284.67	284.40	284.10	284.16	284.333	0.200	0.0704
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	284.97	284.74	284.45	284.48	284.660	0.528	0.1856
12	285.05	284.75	284.47	284.46	284.683	0.550	0.1935
13	285.02	284.74	284.50	284.52	284.695	0.563	0.1979
14	285.09	284.80	284.56	284.51	284.740	0.608	0.2137
15	285.10	284.82	284.51	284.58	284.753	0.620	0.2181
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	285.34	284.99	284.75	284.78	284.965	0.832	0.2929

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 37 Mediciones de Expansión Probeta 21

Probeta 21							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	283.93	284.20	283.98	284.05	284.040		
1	284.04	284.25	284.01	284.06	284.090	0.050	0.0176
2	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-
4	284.18	284.38	284.11	284.47	284.285	0.245	0.0862
5	284.16	284.39	284.15	284.46	284.290	0.250	0.0880
6	284.23	284.41	284.23	284.53	284.350	0.310	0.1091
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-
11	284.50	284.75	284.47	284.57	284.573	0.532	0.1873
12	284.59	284.81	284.48	284.55	284.608	0.567	0.1997
13	284.59	284.80	284.50	284.62	284.628	0.587	0.2067
14	284.58	284.82	284.51	284.58	284.623	0.582	0.2049
15	284.63	284.85	284.53	284.61	284.655	0.615	0.2164
16	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-
18	284.78	285.01	284.90	284.69	284.845	0.805	0.2832

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 38 Mediciones de Expansión Probeta 22

Probeta 22							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.25	283.84	284.09	284.06	284.060		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.38	284.05	284.18	284.25	284.215	0.155	0.0545
4	284.45	284.02	284.11	284.24	284.205	0.145	0.0510
5	284.50	284.08	284.16	284.31	284.263	0.203	0.0712
6	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	284.83	284.45	284.51	284.72	284.628	0.568	0.1997
11	284.86	284.50	284.55	284.72	284.658	0.598	0.2102
12	284.86	284.48	284.54	284.73	284.653	0.593	0.2085
13	284.90	284.53	284.56	284.76	284.688	0.628	0.2208
14	284.95	284.56	284.59	284.80	284.725	0.665	0.2340
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	285.14	284.76	284.79	284.99	284.920	0.860	0.3026
18	285.23	284.86	284.89	285.07	285.013	0.953	0.3351

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 39 Mediciones de Expansión Probeta 23

Probeta 23							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.47	284.01	284.11	284.62	284.303		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.43	284.21	284.34	284.84	284.455	0.152	0.0537
4	284.44	284.19	284.29	284.81	284.433	0.130	0.0457
5	284.52	284.26	284.34	284.88	284.500	0.197	0.0695
6	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	284.93	284.72	284.76	285.17	284.895	0.593	0.2085
11	285.03	284.77	284.78	285.31	284.973	0.670	0.2357
12	285.03	284.81	284.78	285.33	284.988	0.685	0.2410
13	285.03	284.82	284.85	285.33	285.008	0.705	0.2480
14	285.04	284.81	284.91	285.46	285.055	0.752	0.2647
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	285.27	285.09	285.05	285.64	285.263	0.960	0.3377
18	285.32	285.41	285.14	285.65	285.380	1.077	0.3791

Elaborado por: Villagómez C

Tabla 40 Mediciones de Expansión Probeta 24

Probeta 24							
día	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Promedio	Variación	Porcentaje
0	284.32	284.05	284.27	284.08	284.180		
1	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-
3	284.45	284.20	284.41	284.30	284.340	0.160	0.0563
4	284.39	284.26	284.40	284.30	284.338	0.157	0.0554
5	284.47	284.24	284.39	284.27	284.343	0.162	0.0572
6	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	284.82	284.67	284.74	284.56	284.698	0.517	0.1821
11	284.87	284.74	284.75	284.69	284.763	0.582	0.2049
12	284.87	284.70	284.69	284.67	284.733	0.553	0.1944
13	284.85	284.71	284.74	284.69	284.748	0.567	0.1997
14	284.89	284.69	284.76	284.69	284.758	0.577	0.2032
15	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-
17	285.09	284.90	284.94	284.94	284.968	0.788	0.2771
18	285.12	284.97	285.02	284.98	285.023	0.843	0.2964

Elaborado por: Villagómez C

Anexo 3 Fotografías del ensayo



Figura 5 Lavado y triturado del material a utilizar

Elaborado por: Villagómez C



Figura 6 Mesa de flujo de Mortero

Elaborado por: Villagómez C



Figura 7 Elaboración de Probetas de mortero

Elaborado por: Villagómez C



Figura 10 Probetas iniciales

Elaborado por: Villagómez C

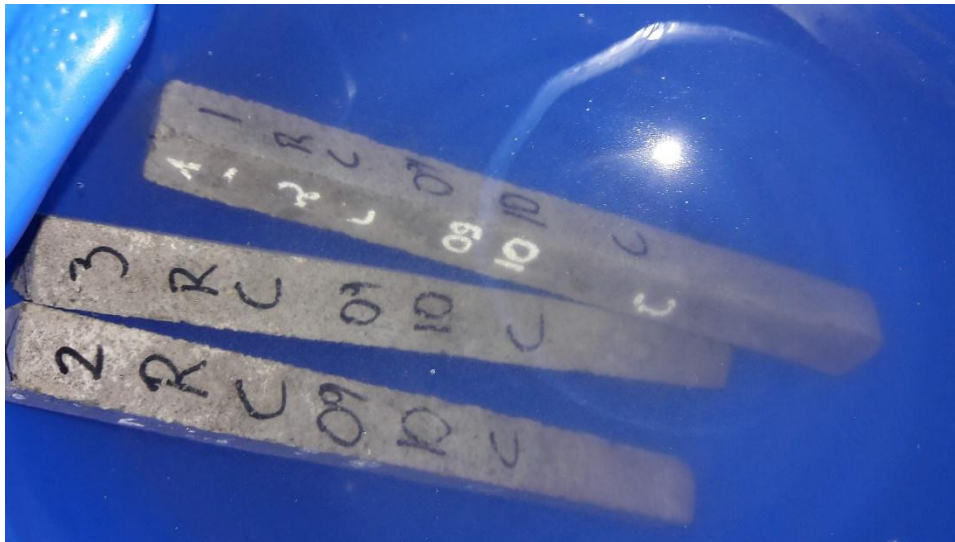


Figura 11 Inmersión de probetas en Hidróxido de sodio 1 molar

Elaborado por: Villagómez C



Figura 12 Fisuras en probeta #22 con cemento tipo GU y agregados de Cerro Negro

Elaborado por: Villagómez C

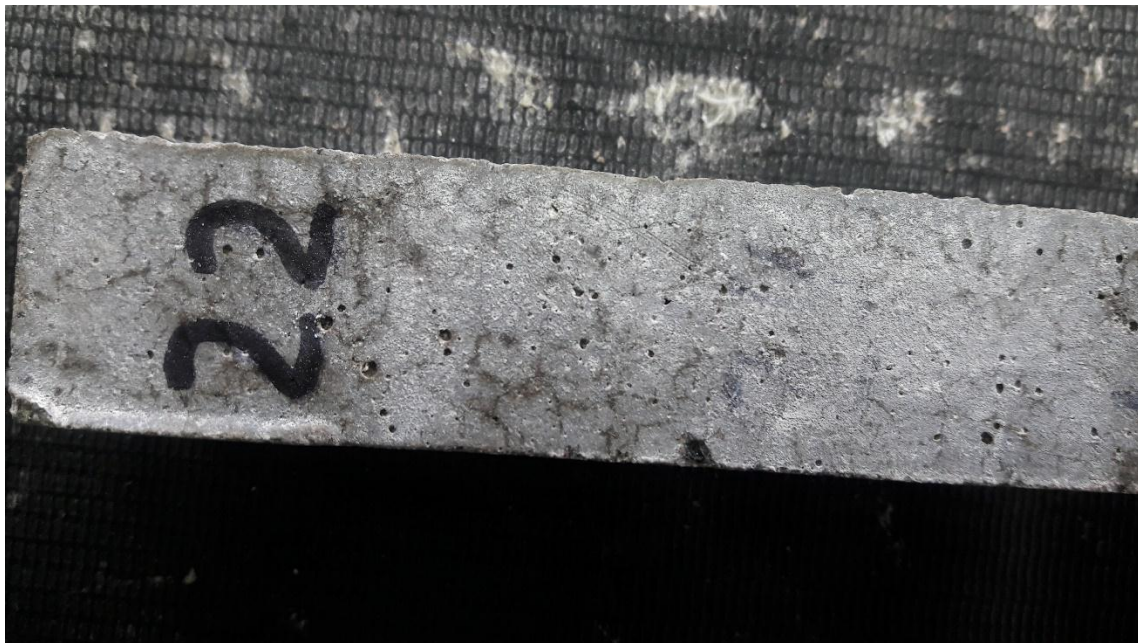


Figura 13 Probeta #22 al salir de la mezcla con cemento tipo GU y agregados de Cerro Negro

Elaborado por: Villagómez C



Figura 14 Fisuras en probetas con cemento GU y agregados de Cerro Negro

Elaborado por: Villagómez C



Figura 15 Fisuras en probetas con cemento tipo GU y agregados de Cerro Negro

Elaborado por: Villagómez C



Figura 16 Fisuras de probetas con cemento tipo GU y agregados de Rio Chambo

Elaborado por: Villagómez C



Figura 17 Probetas con cemento tipo IP al final del ensayo y agregados de Cerro Negro

Elaborado por: Villagómez C



Figura 18 Fisuras en probetas con cemento tipo IP y agregados de Cerro Negro

Elaborado por: Villagómez C



Figura 19 Probeta 11 al final del ensayo de Barra mortero con cemento tipo IP y agregados de Cerro Negro

Elaborado por: Villagómez C