

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS:**

**“ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA  
REACTIVIDAD ÁLCALI SÍLICE DE LOS  
AGREGADOS EN LA DURABILIDAD DEL  
CONCRETO  $f'c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup> SEGÚN LA NORMA  
ASTM C-1260 EVALUADO EN CANTERAS DE  
CAJAMARCA ”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
OTTO ANDERSON DÍAZ TELLO**

**ASESOR:  
M. en I. HECTOR ALBARINO PÉREZ LOAYZA**

**Cajamarca, Perú  
-2017-**

## DEDICATORIA

A mi familia en general por su paciencia, a mis padres, a mis tíos, por su abnegación apoyo en todos estos años; A la persona que desde el cielo siempre está pendiente de nosotros que nos ilumina con su cariño, mi abuelo **LUIS HERNÁN RONCAL RAMIREZ.**

A mis hermanos que siempre estuvieron a mi lado, **Manuel Harol Díaz Tello** y **Maricarmen Díaz Tello**, el cual compartimos todo nuestro tiempo y alegría.

## AGRADECIMIENTO

Mi sincera retribución al **M. en I. Héctor Albarino Pérez Loayza** asesor de esta tesis por su dedicación, conocimiento, orientación y forma de trabajar que han sido fundamentales para realizar la investigación.

Así mismo a todos mis amigos universitarios, prontamente colegas que de una u otra manera contribuyeron con la culminación de mi trabajo.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS Y/O GRÁFICOS.....	xi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.4. ALCANCES Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.5. HIPÓTESIS.....	4
1.6. OBJETIVOS.....	4
1.7. LIMITACIONES.....	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	6
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	6
2.2. BASES TEÓRICAS.....	8
2.2.1. REACCIONES EXPANSIVAS.....	8
2.2.1.1. LA REACCIÓN ÁLCALI-CARBONATO.....	8
2.2.1.2. REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE.....	12
2.2.3. MÉTODOS DE ENSAYO.....	38
2.2.3.1. MÉTODO QUÍMICO.....	38
2.2.3.2. MÉTODO ENSAYO DE BARRAS DE MORTERO.....	41
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS.....	43
3.2. METODOLOGÍA.....	45
3.3. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS.....	48
3.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO.....	53
3.5. ENSAYO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD POTENCIAL ALCALINA DE AGREGADOS (MÉTODO DE LA BARRA DEL MORTERO).....	54
3.5.1. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO.....	54
3.5.2. SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL CEMENTO.....	56

3.5.3. PREPARACIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO.....	57
3.5.4. PROPORCIONAMIENTO DEL MORTERO.....	57
3.5.5. MEZCLADO DEL MORTERO.....	58
3.5.6. MOLDEO DE LOS ESPECÍMENES DE ENSAYO.....	58
3.5.7. PROCEDIMIENTO.....	58
3.5.7.1. ALMACENAJE INICIAL Y MEDICIÓN DE LAS BARRAS.....	58
3.5.7.2. LECTURAS DE CERO.....	61
3.5.7.3. ALMACENAJE Y LECTURAS SUBSECUENTES.....	62
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	64
4.1. VARIABILIDAD DIMENSIONAL DE LONGITUD.....	64
4.2. RESUMEN VARIACIÓN DE LONGITUD DE BARRAS DE MORTERO CANTERA RIO CHONTA.....	65
4.3. RESUMEN VARIACIÓN DE LONGITUD DE BARRAS DE MORTERO CANTERA RIO MASHCÓN.....	68
4.4. RESUMEN VARIACIÓN DE LONGITUD DE BARRAS DE MORTERO CANTERA EL GAVILÁN.....	71
4.5. GEL GENERADO EN LA REACCIÓN ÁLCALI SÍLICE.....	96
4.6. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	99
4.7. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	111
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	114
ANEXOS.....	117
PANEL FOTOGRÁFICO.....	155

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01. Conferencias internacionales sobre la reacción álcali- sílice.....	7
Tabla 02. Requisitos de gradación.....	58
Tabla 03. Resumen variación de longitud de barras de mortero cantera río Chonta.....	65
Tabla 04. Resumen variación de longitud de barras de mortero cantera río Mashcón.....	68
Tabla 05. Resumen variación de longitud de barras de mortero cantera cerro el gavilán.....	71
TABLA 06. Variaciones de longitud de barras de mortero M-1 a M-10 a los 14 días cantera río Chonta.....	74
TABLA 07. Variaciones de longitud de barras de mortero M-11 a M-20 a los 14 días cantera río Chonta.....	75
TABLA 08. Variaciones de longitud de barras de mortero M-21 a M-30 a los 14 días cantera río Chonta.....	76
TABLA 09. Variaciones de longitud de barras de mortero M-31 a M-40 a los 14 días cantera río Chonta.....	77
TABLA 10. Variaciones de longitud de barras de mortero M-41 a M-50 a los 14 días río Chonta.....	78
TABLA 11. Variaciones de longitud de barras de mortero M-51 a M-60 a los 14 días río Chonta.....	79
TABLA 12. Variaciones de longitud de barras de mortero M-1 a M-10 a los 14 días río Mashcón.....	80
TABLA 13. Variaciones de longitud de barras de mortero M-11 a M-20 a los 14 días cantera río Mashcón.....	81
TABLA 14. Variaciones de longitud de barras de mortero M-21 a M-30 a los 14 días cantera río Mashcón.....	82
TABLA 15. Variaciones de longitud de barras de mortero M-31 a M-40 a los 14 días cantera río Mashcón.....	83
TABLA 16. Variaciones de longitud de barras de mortero M-41 a M-50 a los 14 días río Mashcón.....	84
TABLA 17. Variaciones de longitud de barras de mortero M-51 a M-60 a los 14 días río Mashcón.....	85
TABLA 18. Variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-1 a M-10 a los 14 días.....	86

TABLA 19. Variaciones de longitud de barras de mortero <i>El Gavilán</i> M-11 a M-20 a los 14 días.....	87
TABLA 20. Variaciones de longitud de barras de mortero <i>El Gavilán</i> M-21 a M-30 a los 14 días.....	88
TABLA 21. Variaciones de longitud de barras de mortero <i>El Gavilán</i> M-31 a M-40 a los 14 días.....	89
TABLA 22. Variaciones de longitud de barras de mortero <i>El Gavilán</i> M-41 a M-50 a los 14 días.....	90
TABLA 23. Variaciones de longitud de barras de mortero <i>El Gavilán</i> M-51 a M-60 a los 14 días.....	91
TABLA 24. Resumen de la variación promedio de longitud a los 14 días cantera rio chonta.....	92
TABALA 25. Resumen de la variación promedio de longitud a los 14 días cantera rio Mashcón.....	93
TABLA 26. Resumen de la variación promedio de longitud a los 14 días cantera el gavilán.....	94
TABLA 27. Resumen de la variación promedio de longitud a los 14 días de las 3 canteras.....	95
TABLA 28. Resultado de la resistencia a la compresión a los 7 días de las 3 canteras.....	101
TABLA 29. Resultado de la resistencia a la compresión a los 14 días de las 3 canteras.....	103
TABLA 30. Resultado de la resistencia a la compresión a los 30 días de las 3 canteras.....	105
TABLA 31. Resultado de la resistencia a la compresión a los 60 días de las 3 canteras.....	107
Tabla 32. Granulometría del agregado fino cantera roca fuerte-ensayo N° 1.....	117
Tabla 33. Granulometría del agregado fino cantera roca fuerte-ensayo N° 2.....	118
Tabla 34. Granulometría del agregado fino cantera roca fuerte-ensayo N° 3.....	119
Tabla 35. Granulometría del agregado fino <i>El Gavilán</i> – ensayo N° 1.....	120
Tabla 36. Granulometría del agregado fino <i>El Gavilán</i> – ensayo N° 2.....	121
Tabla 37. Granulometría del agregado fino <i>El Gavilán</i> – ensayo N° 3.....	122

Tabla 38. Granulometría del agregado fino Río Mashcón– ensayo N° 1.....	123
Tabla 39. Granulometría del agregado fino Río Mashcón– ensayo N° 2.....	124
Tabla 40. Granulometría del agregado fino Río Mashcón– ensayo N° 3.....	125
Tabla 41. Pesos específicos y absorción del agregado fino río chonta.....	127
Tabla 42. Determinación del peso específico del agua río chonta.....	127
Tabla 43. Pesos específicos y absorción del agregado fino El Gavilán.....	128
Tabla 44. Determinación del peso específico del agua El Gavilán.....	128
Tabla 45. Pesos específicos y absorción del agregado fino río Mashcón.....	129
Tabla 46. Determinación del peso específico del agua.....	129
Tabla 47. Calculo del factor f.....	130
Tabla 48. Peso unitario suelto seco del agregado fino río chonta.....	130
Tabla 49. Peso unitario suelto seco compactado del agregado fino río chonta.....	130
Tabla 50. Peso unitario suelto seco del agregado fino El Gavilán.....	131
Tabla 51. Peso unitario suelto seco compactado del agregado fino El Gavilán.....	131
Tabla 52. Peso unitario suelto seco del agregado fino río Mashcón.....	131
Tabla 53. Peso unitario suelto seco compactado del agregado fino río Mashcón.....	132
Tabla 54. Contenido de humedad del agregado fino río chonta.....	132
Tabla 55. Contenido de humedad del agregado fino El Gavilán.....	132
Tabla 56. Contenido de humedad del agregado fino Río Mashcón.....	133
Tabla 57. Resumen de las características del agregado fino río Chonta.....	133
Tabla 58. Resumen de las características del agregado fino El Gavilán.....	134
Tabla 59. Resumen de las características del agregado fino río Mashcón....	134
Tabla 60. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Chonta a los 7 días. Muestra 1.....	135
Tabla 61. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Chonta a los 7 días. Muestra 3.....	136
Tabla 62. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Chonta a los 7 días. Muestra 5.....	137
Tabla 63. Deformación unitaria de las probetas con agregado del El Gavilán a los 7 días. Muestra 1.....	139
Tabla 64. Deformación unitaria de las probetas con agregado del El Gavilán a los 7 días. Muestra 6.....	141

Tabla 65. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Mashcón a los 7 días. Muestra 2.....	143
Tabla 66. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Chonta a los 14 días. Muestra 2.....	145
Tabla 67. Deformación unitaria de las probetas con agregado de El Gavilán a los 14 días. Muestra 1.....	147
Tabla 68. Deformación unitaria de las probetas con agregado de río Mashcón a los 14 días. Muestra 4.....	149
Tabla 69. Deformación unitaria de las probetas con agregado de río Chonta a los 30 días. Muestra 1.....	151
Tabla 70. Deformación unitaria de las probetas con agregado de El Gavilán a los 30 días. Muestra 5.....	153

## ÍNDICE DE FIGURAS Y/O GRÁFICOS

Figura 1. Perfil de un puente que muestra daños causados por reacción álcali-sílice.....	6
Figura 02. Perfil de un puente que muestra daños causados por reacción álcali-sílice Lima-Perú.....	7
Figura. 03. Superficies de testigos que muestran bordes de reacción.....	9
Figura. 04. Ejemplos de equilibrio. Hobbs (1988).....	14
Figura. 05. Proceso de fisuración por la reacción Álcali Sílice.....	15
Figura. 06 Ataque Alcalino de una partícula de Sílice reactiva. Poole, Alan B. (1992).....	16
Figura. 07 Hobbs (1988), Modelo idealizado de cómo pueden inducirse las fisuras causadas por la reacción álcali-sílice.....	17
Figura. 08. Dent Glasser (1980) Ataque de los álcalis en sílice bien cristalizada (A) y en sílice amorfa (B).....	19
Figura 09.Efecto de tamaño de partícula (a) y de la proporción del árido reactivo (b). (1940).....	19
Figuro 10. ICOLD (boletín 79,1991): Influencia del contenido de áridos reactivos frente a la expansión.....	20
Figura 11. Hobbs (1988): Relación expansión – tiempo.....	21
Figura 12. Hobbs, D. W., (1988) Alkali-Silica reaction in concrete. London, England Efecto pésimo en el hormigón.....	22
Figura 14 Hobbs, D. W., (1988) Alkali-Silica reaction in concrete. London, England, Humedad relativa.....	27
Figura 15 Hobbs, D. W., (1988) Alkali-Silica reaction in concrete. London, England, Absorción del agua por el gel álcali sílice.....	29
Figura 16, Ferraris, C.F (1995), Tipos de fisura en función del componente reactivo.....	30
Figura 17- Clasificación de los silicatos (Klein, Cornelis y Hurlbut, carnelius., (1998) Manual de minaralogía. Barcelona).....	32
Figura 18- Deformación de la reactividad por el método químico. (2001) Standard test method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (chemical method).....	39
Figura 19- Método químico a 24 horas, 3 y 7 días.....	39
Figura 20- Clasificación de la reactividad potencial de los áridos Método químico cinético.....	40

Figura 21- Rango en las expansiones de barras. Hooton, R. D., (1995) Test procedures for ASR.....	42
Figura 22. Selección de agregados cantera Roca Fuerte.....	48
Figura 23. Selección de agregados cantera de cerro el Gavilán.....	48
Figura 24. Selección del agregado fino por cuarteo, frasco lleno con la muestra y el agua hasta la marca de 500cm <sup>3</sup> .....	50
Figura 25. Juego de tamices empleado en el ensayo granulométrico.....	52
Figura 26. Toma de medidas del mortero, ensayo a compresión del mortero, tipo de falla corte diagonal del mortero.....	53
Figura 27. Gradación del agregado según la tabla N° 1 de la cantera Roca Fuerte.....	55
Figura 28. Gradación del agregado según la tabla N° 1.....	56
Figura 29. Cemento IP Yura. Norma técnica ASTM C150 NTP 334.09.....	56
Figura 30. Desmolde de las barras de mortero 25x25x285 mm.....	59
Figura 31. Codificación de las barras de mortero 25x25x285 mm.....	59
Figura 32. Almacenamiento de las barras de mortero.....	60
Figura 33. Curado de las barras de mortero.....	60
Figura 34. Almacenaje en horno de convección a una temperatura de 80 °C (176 °F).....	60
Figura 35. Lecturas de los especímenes de barras de mortero.....	62
Figura 36. Lecturas de los especímenes de barras de mortero a los 1,5 días...	63
Figura 37. Lecturas de los especímenes de barras de mortero a los 14 días...	63
Figura 38 barras de mortero a los 14 días extraídas del horno.....	96
Figura 39 barras de mortero a los 14 días presencia de fisuras, formación de gel en expansiones mayores a 1.5%.....	96
Figura 40 barras de mortero a los 14 días con expansiones mayores a 1.5% presencia de ligeras curvaturas.....	97
Figura 41 barras de mortero a los 14 días con expansiones mayores a 1.5% presencia de gel marrón y blanquecino.....	97
Figura 41 barras de mortero a los 14 días con depósitos en la superficie.....	98
Figura 42 Probetas de mortero para ensayo a la compresión.....	99
Figura 43 Ensayo de resistencia a la compresión.....	100
Figura 44 verificaciones del Ensayo de resistencia a la compresión.....	100
Figura 45. Ensayo granulométrico del agregado fino.....	155

Figura 46. Ensayo Peso específico del agregado fino.....	155
Figura 47. Gradación del material según la norma ASTM 1260.....	156
Figura 48. Barras de mortero desencofradas.....	156
Figura 49. Almacenaje en horno a temperatura 80°C.....	156
Figura 50. Lecturas de las barras de mortero a los 5 días.....	157
Figura 51. Lecturas de las barras de mortero a los 14 días.....	157
Figura 52. Presencia de fisuras en las barras de mortero a los 11, 14 días.....	158
Figura 53. Presencia de curvaturas de la probeta a los 14 días.....	158
Figura 54. Ensayo de compresión del mortero.....	159
Figura 55. Rotura de probetas probadas para compresión.....	159
Gráfico 01. Variaciones de longitud de barras de mortero río Chonta M-1 a M-10 a los 14 días.....	74
Gráfico 02. Variaciones de longitud de barras de mortero Río Chonta M-11 a M-20 a los 14 días.....	75
Gráfico 03. Variaciones de longitud de barras de mortero Río Chonta M-21 a M-30 a los 14 días.....	76
Gráfico 04. Variaciones de longitud de barras de mortero Río Chonta M-31 a M-40 a los 14 días.....	77
Gráfico 05. Variaciones de longitud de barras de mortero Río Chonta M-41 a M-50 a los 14 días.....	78
Gráfico 06. Variaciones de longitud de barras de mortero Río Chonta M-51 a M-60 a los 14 días.....	79
Gráfica 07 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-1 a M-10 a los 14 días.....	80
Gráfica 08 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-11 a M-20 a los 14 días.....	81
Gráfica 09 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-21 a M-30 a los 14 días.....	82
Gráfica 10 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-31 a M-40 a los 14 días.....	83
Gráfica 11 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-41 a M-50 a los 14 días.....	84
Gráfica 12 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-51 a M-60 a los 14 días.....	85

Gráfica N° 13 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-1 a M-10 a los 14 días.....	86
Gráfica N° 14 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-11 a M-20 a los 14 días.....	87
Gráfica N° 15 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-21 a M-30 a los 14 días.....	88
Gráfica N° 16 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-31 a M-40 a los 14 días.....	89
Gráfica N° 17 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-41 a M-50 a los 14 días.....	90
Gráfica N° 18 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-51 a M-60 a los 14 días.....	91
Gráfica N° 19 variaciones promedio de longitud de barras de mortero a los 14 días cantera Río Chonta.....	92
Gráfica N° 20 variaciones promedio de longitud de barras de mortero a los 14 días cantera Río Mashcón.....	93
Gráfica N° 21 variaciones promedio de longitud de barras de mortero a los 14 días cantera El Gavilán.....	94
Gráfica N° 22 variaciones promedio de longitud de barras de mortero a los 14 días de las tres canteras.....	95
Gráfico 23. Curva granulométrica del agregado fino cantera rio chonta ensayo N°1.....	118
Gráfico 24. Curva granulométrica del agregado fino cantera rio chonta ensayo N°2.....	119
Gráfico 25. Curva granulométrica del agregado fino cantera rio chonta ensayo N°3.....	120
Gráfico 26. Curva granulométrica del agregado fino cantera El Gavilán ensayo N°1.....	121
Gráfico 27. Curva granulométrica del agregado fino cantera El Gavilán ensayo N°2.....	122
Gráfico 28. Curva granulométrica del agregado fino cantera El Gavilán ensayo N°3.....	123
Gráfico 29. Curva granulométrica del agregado fino cantera río Mashcón ensayo N°1.....	124

Gráfico 30. Curva granulométrica del agregado fino cantera río Mashcón ensayo N°2.....	125
Gráfico 31. Curva granulométrica del agregado fino cantera río Mashcón ensayo N°3.....	126
Gráfico 32. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera río Chonta. Muestra 3.....	136
Gráfico 33. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera río Chonta. Muestra 5.....	138
Gráfico 34. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera El Gavilán. Muestra 1.....	140
Gráfico 35. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera El Gavilán. Muestra 6.....	142
Gráfico 36. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera río Mashcón. Muestra 2.....	144
Gráfico 37. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera río Chonta. A los 14 días. Muestra 2.....	146
Gráfico 38. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria agregado El Gavilán. A los 14 días. Muestra 1.....	148
Gráfico 39. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria agregado del río Mashcón. A los 14 días. Muestra 4.....	150
Gráfico 40. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria agregado del río Chonta. A los 30 días. Muestra 1.....	152
Gráfico 41. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria agregado de la cantera El Gavilán. A los 30 días. Muestra 5.....	154

## RESUMEN

La finalidad de esta investigación es determinar el grado de reactividad álcali-sílice del agregado fino utilizado para concreto en la construcción, se realizaron estudios a través del método acelerado descrito por la Norma ASTM C1260 y norma técnica peruana NTP 334.110 "Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de agregados" (Método de la barra del mortero). El ensayo se realizó a tres canteras de agregado en Cajamarca; Como conclusión se verificó que dos canteras presentan grados de reactividad alcalina de agregado muy cercanos a los valores máximos permisibles de la norma, mientras que una supera los valores máximos permisibles.

Varias causas del deterioro del hormigón, se encuentra la reacción álcali-agregado. Algunos agregados reaccionan con los álcalis del cemento, cuando existe presencia de agua en los poros, dando lugar a un compuesto gelatinoso de silicato alcalino que es expansivo y puede destruir al hormigón afectando la vida útil de la estructura y la durabilidad del concreto.

**Palabras Clave:** reacciones álcali-sílice, durabilidad, grado de reactividad.

## **ABSTRACT**

The purpose of this investigation is to determine the reactivity degree alkali-silica of the fine aggregate used for concrete in the construction, studies were carried out using the accelerated method described by ASTM C1260 and Peruvian technical standard NTP 334.110 Test method to determine the Potential alkaline reactivity of aggregates (Mortar bar method). The test was performed at three of the aggregate quarries in Cajamarca; In conclusion, two quarries present aggregate alkaline reactivity levels very close to the maximum permissible values of the standard, while one exceeds the maximum permissible values.

Several causes of concrete deterioration, is the alkali-aggregate reaction. Some aggregates reacts with the cement's alkali, when there is water in the pores, giving place to a gelatinous silicate-alkali compound which is expansive and can destroy the concrete affecting the shelf life of the structure and the durability of the concrete.

**Keywords:** alkali-silica reaction, durability, degradation, reactivity degree.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

Se entiende por durabilidad del concreto a su resistencia a las influencias de los factores internos y externos a los cuales están expuestos durante su periodo de vida útil y en las condiciones normales de servicio previsto. Siempre se ha reconocido la importancia de la durabilidad del concreto. Esto ha traído como consecuencia que de unos años a la fecha se de mucha mayor importancia a los factores que contribuyen al deterioro del concreto.

El ataque por reacciones álcali-árido puede provocar la degradación del hormigón a través de las denominadas “reacciones expansivas”. Las reacciones álcalis árido engloban las reacciones álcali-sílice, álcali-silicato y álcali-carbonato, aunque sean las RAS las que vienen presentando una mayor relevancia.

La reacción entre la sílice de los agregados y los álcalis está en razón directa a su hidratación. Los factores que influyen en esta reacción son múltiples y dependen de la cantidad total de álcalis, dosificación de cemento, finura del cemento, granulometría del agregado, reactividad de los mismos, humedad y temperatura.

Actualmente existen tres métodos normalizados para la determinación de la reacción álcali sílice: el método químico, el método petrográfico y el método de las barras de mortero, que puede ser normal o acelerado. El método de las barras de mortero es el que utilizaremos en la investigación, pues nos da una evaluación importante en la identificación de minerales con potencialidad reactiva.

El presente trabajo de investigación pretende destacar la importancia de determinar la presencia de la reactividad potencial alcalina de agregados, y tomarlas en cuenta para evaluar la calidad de los mismos.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Uno de los problemas que contribuyen al deterioro del concreto se encuentra en sustancias potencialmente alcalinas que contienen los agregados.

Se le llama “reacción alcalina” de los agregados al conjunto de fenómenos de degradación del concreto ocasionados por la reacción química entre algunos minerales contenidos en los agregados y las sustancias alcalinas del cemento, en la actualidad se considera un problema la reacción que ocurre entre minerales silíceos y la alcalinidad del concreto, que se denomina “reacción álcali- sílice. Hay que tener en claro que en este caso, los álcalis son sodio y potasio, y no hidróxido de calcio, que se forman con la hidratación del cemento.

Como métodos de prueba RAS se establecen dos métodos: el método químico y el método de barras de mortero regidos bajo la Norma (ASTM C-1260), Norma Técnica Peruana NTP 334.067. El método de barras de mortero intenta fabricar barras de mortero con los agregados, para conocer la reactividad potencial de los agregados midiendo su tasa de expansión.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El problema de investigación se plantea mediante las siguientes preguntas:

### **Pregunta General:**

¿El grado de reactividad álcali-sílice del agregado fino utilizado en las canteras de Cajamarca supera los límites permisibles según la norma técnica ASTM 1260?

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Este estudio se justifica por lo siguiente:

- a) La investigación se realiza con el propósito de identificar el grado de reactividad de las rocas en tres canteras de Cajamarca utilizadas en construcción, evaluadas por el método descrito por la Norma ASTM C1260 y NTP 334.110.
- b) La presente tesis se realiza, debido a que en Cajamarca no hay estudios relacionados, puede ser una muy buena alternativa la utilización del método de “BARRAS DE MORTERO” para conocer la reactividad potencial de los agregados midiendo su tasa de expansión.

### **1.4. ALCANCES DE LA INVESTIGACIÓN**

Este trabajo se orienta a determinar el grado de reactividad del agregado, por existir información insuficiente sobre la presencia de sustancias reactivas nocivas de los agregados, y tomarlas en cuenta para evaluar su calidad, también a los actores de la construcción civil como empresas de construcción, albañiles, maestros de obra, etc. de la ciudad de Cajamarca.

Así mismo será tomado como fuente bibliográfica para estudiantes de Ingeniería Civil, como para profesionales de la industria de la construcción, así como un alcance para los ingenieros diseñadores de concreto; Orientándose sus resultados para la población y contexto social.

El trabajo se realizará en la ciudad de Cajamarca, en el Laboratorio de Materiales de la Universidad Nacional de Cajamarca, utilizando agregado chancado de las canteras del río Chonta (Cantera Roca Fuerte) “Baños del Inca”, cantera del río Mashcón (Cantera Chávez) y cantera el Gavilán (Cantera de Cerro) Las pruebas se realizará según la normas: ASTM C-1260 y Norma Técnica Peruana NTP 334.110.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **Hipótesis General**

El agregado fino de las tres canteras estudiadas superan el 0.20% de expansión superando los límites permisibles por la Norma técnica ASTM C 1260 produciendo efectos expansivos debido a sustancias reactivas nocivas afectando en la durabilidad del concreto.

### **Hipótesis Específica**

- La composición mineralógica de los agregados influye en la reacción Álcali Sílice.
- La Reacción Álcali-Sílice en los agregados es nociva para el concreto.

## **1.5. OBJETIVOS**

### **Objetivo General:**

- EL objetivo principal de esta investigación es evaluar los efectos de la reacción álcali sílice y los efectos expansivos que estas generan, así como implementar y dar a conocer un método efectivo para la detección de la reacción álcali sílice en un corto plazo.

### **Objetivos Específicos:**

- Determinar dentro de un periodo de 14 días, la reactividad potencial álcali-sílice de los agregados en la barra de mortero.
- Determinar el grado de deterioro del concreto en un periodo de tiempo.
- Determinar la mineralogía de los agregados.
- Evaluar la reacción Álcali Sílice mediante la variación longitudinal de las barras de mortero.

## **1.6. LIMITACIONES**

- Se realizarán los ensayos con agregados procedentes sólo de 3 canteras representativas: Río Chonta (Cantera Roca Fuerte), Cantera Chávez (cantera de río Mashcón), y cantera el Gavilán (Cantera de cerro)
- Se utilizará sólo un tipo de cemento.
- Se utilizará sólo un tipo de reactivo.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS

*(Thomas E. Stanton, en el año 1940).* Algunas estructuras en California aparecen afectadas por una intensa fisuración y expansión. Como resultado de sus estudios, interpretó los deterioros aparecidos en la presa Parker Davis de California como una interpretación entre los áridos del hormigón de la presa (andesitas y riolitas alteradas) y los alcalinos del cemento utilizados en su fabricación.



*Figura 1. Thomas E. Stanton de la California State Division of Highways y el perfil de un puente que muestra daños causados por reacción álcali-sílice*

Las investigaciones de Thomas E. Stanton favorecieron que los investigadores de otros estados interpretaran los deterioros similares en otras estructuras de hormigón.

Durante las siguientes décadas, la investigación sobre la reacción álcali-árido se ha llevado a cabo en muchos laboratorios, detectándose multitud de obras afectadas por esta patología, primero en EE.UU y más tarde en Europa y otras partes de mundo.

Desde la primera conferencia internacional sobre la reacción álcali-áridos los investigadores han aportado sus avances en el estudio de la reacción a lo largo de 14 conferencias internacionales. Las actas de los congresos son la fuente de la más

importante información sobre esta reacción en sus diferentes aspectos: mineralogía e identificación de áridos reactivos, tipos de reacción, mecanismos, efectos, etc.

#	Year	Host
1	1974	Køge, Denmark
2	1975	Reykjavik, Iceland
3	1976	London, U.K.
4	1978	West Lafayette, USA
5	1981	Cape Town, S. Africa
6	1983	Copenhagen, Denmark
7	1986	Ottawa, Canada

#	Year	Host
8	1989	Kyoto, Japan
9	1992	London, U.K.
10	1996	Melbourne, Australia
11	2000	Quebec City, Canada
12	2004	Beijing, China
13	2008	Trondheim, Norway
14	2012	Austin, U.S.A.

Tabla 01 Conferencias internacionales sobre la reacción álcali- sílice

Alex R. Huamán Sánchez “Influencia de la reactividad álcali- sílice en la durabilidad del concreto” congreso CONEIC Huancayo 2014.

Imagen de deterioros causados por reactividad álcali-sílice en presa y puente en Lima-Perú.



Figura 02. Perfil de un puente que muestra daños causados por reacción álcali-sílice Lima-Perú

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. REACCIONES EXPANSIVAS**

*(Hobbs,D.W., (1988) Alkali-silica reaction in concrete)*. Uno de los principales procesos de degradación del hormigón son las reacciones con los áridos que pueden provocar expansiones. Las reacciones que se producen se clasifican en tres categorías según el tipo de árido:

- reacciones álcali – carbonato (ASTM 1105)
- reacciones álcali – sílice (ASTM 1260)
- ataque sulfático.(ASTM C88)

#### **2.2.1.1. LA REACCIÓN ÁLCALI-CARBONATO (ASTM 1105)**

La reacción álcali-carbonato se da en hormigones que tienen rocas carbonatadas como áridos. Hay dos clases de reacciones álcali-carbonato:

- en la primera, las rocas carbonatadas reaccionan con los álcalis presentes en los poros del hormigón produciendo expansiones y fisuraciones nocivas
- en la segunda, las zonas periféricas de las partículas de árido en contacto con la pasta de cemento, se modifican, desarrollándose bordes sobresalientes entre la partícula y la pasta alterada que la rodea. Sin embargo, esta reacción no parece ser nociva para el hormigón. Estos bordes se pueden observar en la figura 03.

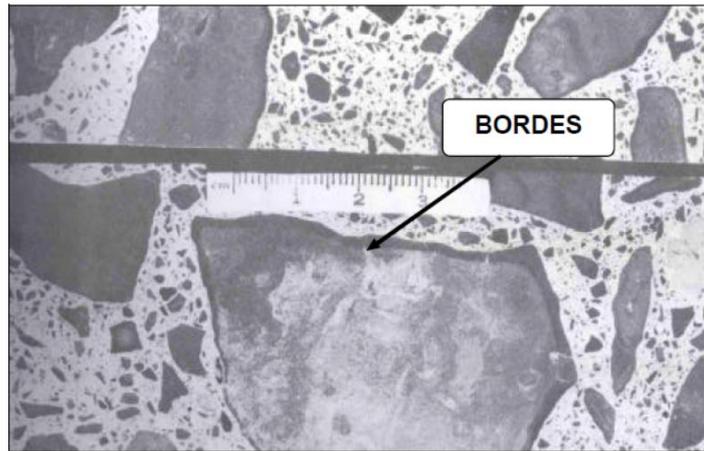


Figura. 03. Superficies de testigos que muestran bordes de reacción (Geoffrey E. Blight 2011, p37)

Teniendo en cuenta el tipo de roca que reacciona, y los problemas que provoca, se pueden distinguir los siguientes tipos de reacción álcali-carbonato:

1. Reacciones que afectan a rocas carbonatadas no dolomíticas: está caracterizada por que los bordes, que en este caso son negativos<sup>1</sup>, de la reacción son visibles a lo largo de los márgenes de las secciones transversales de las partículas del árido. Esta reacción no se considera nociva para el hormigón e incluso puede resultar beneficiosa.
2. Reacciones que afectan a dolomías o a rocas carbonatadas muy dolomíticas: también se caracteriza por bordes de la reacción visibles en las secciones transversales. Salvo en casos puntuales, no hay datos para indicar que sea una reacción dañina.
3. Reacciones que afectan a rocas dolomíticas impuras: estas rocas presentan una composición y textura características. Esta textura consiste en una matriz de grano fino de calcita y arcilla que rodea una serie de grandes cristales de dolomía diseminados en el interior de dicha matriz.

### **2.2.1.1.1. Mecanismo de expansión**

Se han dado distintas explicaciones a la expansión debida a la reacción álcali-carbonato. Las principales son:

- **(Gillott y Swenson 1969)**. Mecanismo indirecto: los áridos que provocan expansiones por álcali - carbonato tienen una estructura con matriz de grano fino de calcita y arcilla que rodea una serie de grandes cristales de dolomía, el mecanismo de expansión propuesto por esta teoría consiste en que la fuerza expansiva se debe a la absorción de agua por las arcillas de las superficies expuestas. La disolución de la dolomía favorece la circulación de agua entre los granos de árido y la incorporación de la solución en la estructura de las arcillas.
- **(Deng y Tang 1992)**. Mecanismo directo: la desdolomitización produce un aumento de volumen, y la presión de cristalización de la calcita y la brucita es la que provoca la expansión y consecuente fisuración.

### **2.2.1.1.2. Factores que afectan a la reacción**

#### ***Alcalinidad***

**(Gillot y Swenson (1969), y Deng y Tang (1992))**. La expansión y fisuración se dan cuando los áridos descritos anteriormente se usan como árido grueso en hormigones y cementos con alto contenido en álcalis. Los álcalis provendrán principalmente del cemento, aunque también pueden provenir de otros componentes del hormigón y de fuentes externas: adiciones minerales, aditivos.

El aumento de la alcalinidad provoca un aumento en la velocidad de la reacción. Pero por otro, los autores que defienden una reacción en la que no intervienen directamente los iones álcali, se han realizado estudios en los que a temperatura ambiente, se produce una ligera disminución de la velocidad de la reacción con el

aumento de la alcalinidad mientras que a 75 °C, la cinética de la reacción aumenta a medida que lo hace la alcalinidad.

### ***Tamaño del árido***

**(Alaejos y Bermúdez 2003)**. Cuánto menor es el tamaño del árido reactivo, menor es la expansión observada. Dado que se produce una mayor expansión en el contacto pasta - árido, el porcentaje relativo de volumen de expansión de las partículas de árido menores es mayor que el de las partículas más grandes, pero la expansión absoluta es al contrario.

Rodeadas de una interfase porosa y flexible, las partículas más pequeñas contribuyen menos a la expansión del hormigón que los áridos más grandes. Si la porosidad de la interfase se reduce, se produce el efecto contrario, (Tong y Tang 1999).

La fisuración y expansión se dan únicamente en las calizas dolomíticas arcillosas con la textura requerida y la composición apropiada: cristales romboédricos de dolomita (un tamaño de 50 micras o menor) distribuidos de una forma relativamente dispersa en una matriz de calcita micrítica, en la que hay entre un 5 y un 25 % de residuo insoluble en ácido, compuesto de illita y clorita, con algo de cuarzo sedimentario.

## 2.2.1.2. REACCIÓN ÁLCALI-SÍLICE (ASTM 1260)

### 2.2.1.2.1. Origen y Mecanismo de la reacción Álcali Sílice

La reacción álcali-sílice es la más común y estudiada de las reacciones

#### **Álcali-árido.**

En la fabricación del hormigón, la hidratación del Pórtland da como resultado una solución intersticial que contiene hidróxidos de calcio, sodio y potasio. El hidróxido de calcio está en forma cristalizada mientras que los hidróxidos de sodio y potasio se encuentran presentes en la solución. La reacción álcali-sílice se produce cuando la disolución alcalina de los poros del hormigón y los minerales silíceos de algunos áridos reaccionan para formar un gel, que al embeber agua, aumenta de volumen.

Anteriormente se creía que el mecanismo de la reacción era distinto para las rocas con minerales silíceos cristalizados que para las rocas con estructura más desordenada, distinguiéndose entre reacción álcali – silicato y reacción álcali – sílice respectivamente. Sin embargo, se ha demostrado que no es así y que la reacción es la misma, sólo que en función del grado de cristalización de la sílice, la cinética de la reacción varía, dándose más rápidamente cuanto menor es este grado.

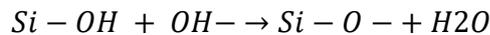
Es por esta razón que en adelante, sólo hablaremos de la reacción álcali – sílice.

La expansión viene causada por la presión osmótica. Los geles de silicato alcalino pueden ejercer grandes presiones de imbibición durante el proceso expansivo, mayores que la resistencia a tracción del hormigón.

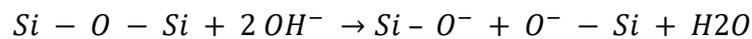
Según el Boletín 79 del ICOLD (1991), las reacciones que se producen son principalmente dos, y lo hacen simultáneamente:

- **Reacción 1:** Reacción ácido-base, neutralización de los grupos silanol (Si-OH) por la solución alcalina con sosa cáustica  $\text{NaOH} = \text{Na}^+ \text{OH}^-$ :

En primer lugar el grupo silanol reacciona con el OH-, y da como producto Si-O-, que al reaccionar con el Na+, produce un gel de silicato.



- **Reacción 2:** Ataque de los puentes de siloxeno por la solución alcalina, lo que provoca una desintegración de la estructura y el paso de la sílice en solución al estado de iones positivos (H<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>).



→ en solución H<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>

Mirando la formulación de estas reacciones, podemos apreciar la importancia que tienen los iones OH- en las mismas, porque para que se produzcan es primordial la presencia de este ión.

Para que se dé la reacción álcali-sílice, es necesaria la presencia de sílice reactiva, álcalis sodio y potasio, y agua. Pero para que la reacción además produzca fisuración y expansión se requiere que las cantidades tanto de sílice reactiva como de álcalis disponibles, sean significativas y que el agua provenga de una fuente externa.

La reacción cesará pues cuando uno de los reactivos se consume o cuando la concentración de ión hidroxilo es tan baja que la sílice reactiva no es atacada. En la Figura 02, Hobbs (1988), para relaciones agua / cemento y árido / cemento de 0,35 y

1,00 respectivamente, se pueden observar ejemplos donde se establece el equilibrio bien porque la reacción se ha completado, bien porque se da el equilibrio físico:

- Caso 1: la expansión cesa cuando ya no hay agua disponible

- Caso 2: la expansión se estabiliza cuando se reduce toda la sílice disponible
- Caso 3: la concentración de metal alcalino o la de ión hidroxilo se reduce a un nivel umbral.

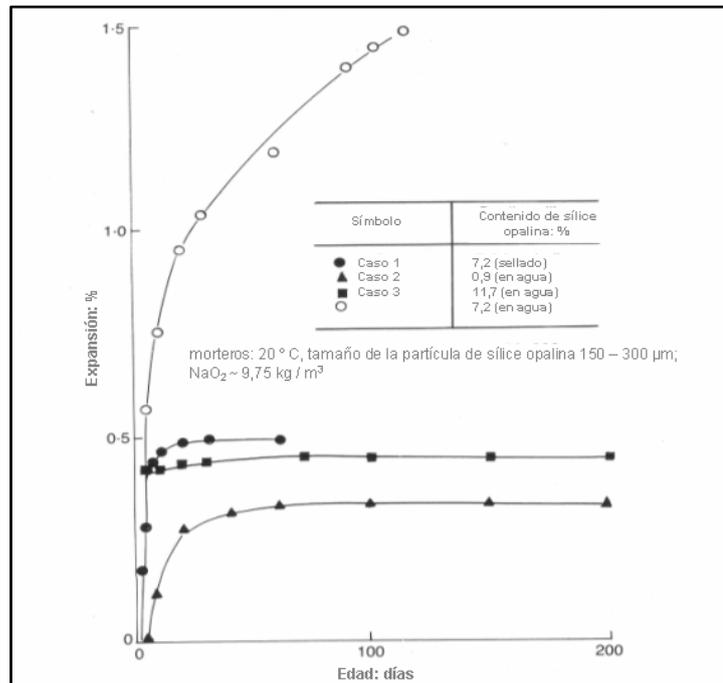


Figura. 04. Ejemplos de equilibrio (Hobbs (1988))

Como la expansión causada por la reacción álcali sílice se debe a las tensiones inducidas por el crecimiento del gel al absorber el fluido intersticial, ésta dependerá del volumen de concentración del gel, de su velocidad de crecimiento y de sus propiedades físicas.

El mecanismo principal de las reacciones químicas que tiene lugar en el hormigón es el representado en la figura. 04

1. El primer paso de las reacciones es el ataque del hidróxido alcalino en la disolución de los poros al árido reactivo. Ya que la reacción se produce desde el exterior del árido hacia el interior, las concentraciones de los iones alcalinos y el agua de hidratación disminuye con el incremento de la distancia desde la superficie del árido. En la zona que rodea el árido se

forma un silicato alcalino maduro, mientras que en la capa mas externas del árido s forma un silicato alcalino inmaduro. Una parte del silicato alcalino se extruye y se disuelve en la disolución de los poros.

2. El consumo de los iones OH por la reacción álcali-sílice aumenta de manera significativa la concentración de los iones  $Ca^{2+}$  en la disolución de los poros. Los iones de  $Ca^{2+}$  reaccionan preferentemente con el silicato alcalino maduro, para pasar a formarse un silicato calco alcalino. Este silicato rellena los poros mejorando la fuerza de cohesión y reduciendo la permeabilidad del hormigón.
3. El halo de la reacción permite la penetración de los hidróxidos alcalinos dentro del árido, pero no la extrusión del silicato alcalino fuera, asi que el silicato alcalino se acumula y comprime en el árido hasta que es expulsado finalmente debido a la fisuración del halo de reacción y del hormigón que lo bordea. La presión expansiva acumulada dentro del arido es entonces, proporcional a la reacción entre la cantidad relativa de silicato existente dentro del árido.

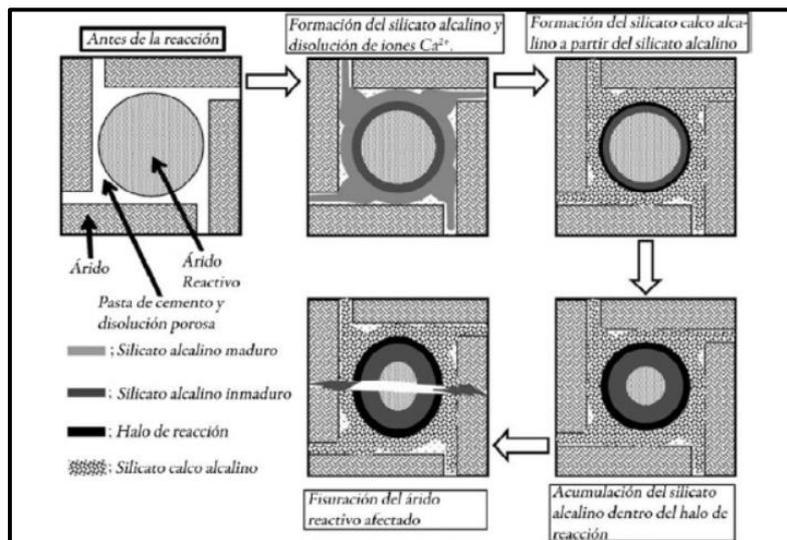


Figura. 05. Proceso de fisuración por la reacción Álcali Sílice Ichikawa, Tsuneki, (2009) Alkali-silica reaction p.716-726

### 2.2.1.2.2. Formación del gel Álcali Sílice

(Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, reactividad Álcali Sílice, p 823). La hidratación del cemento genera geles, portlandita (hidróxido de calcio) y una solución intersticial que está formada principalmente por hidróxidos alcalinos (NaOH y KOH). La concentración inicial de estos componentes depende del cemento empleado y de la reacción agua cemento aplicada al hormigón. Si el equilibrio químico dentro del hormigón se modifica, tanto la portlandita como los hidróxidos alcalinos forman una fuente de iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{OH}^-$  hacia la disolución de los poros del hormigón. Son estos iones  $\text{OH}^-$  los que atacan la sílice reactiva causando su disolución.

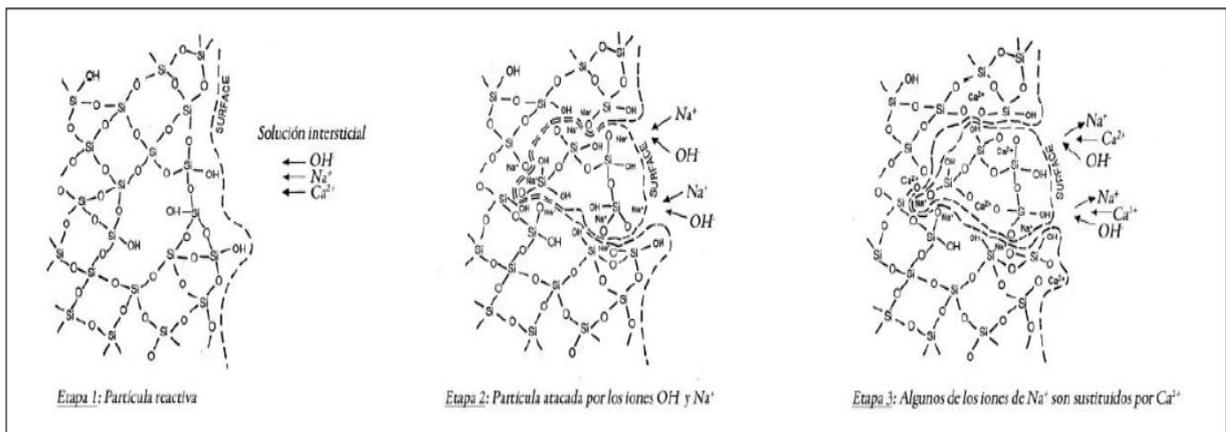


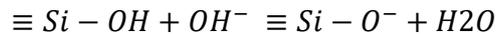
Figura. 06 Ataque Alcalino de una partícula de Sílice reactiva. Poole, Alan B. (1992) *Alkali Silica reactivity mechanism of gel formation and expansión*, p.782-789

La estructura de la sílice cristalina esta formada por tetraedros  $\text{SiO}_4$ . Esto quiere decir que un átomo de silicio se rodea de 4 átomos de oxígeno para formar el compuesto  $\text{SiO}_2$ . Los iones  $\text{OH}^-$  de la disolución de los poros atacan esta estructura rompiendo los enlaces siloxanos que la mantienen unida.



El ataque continuado por parte de los iones  $\text{OH}^-$  sobre los enlaces siloxanos restantes genera iones silicato y pequeños polimeros.

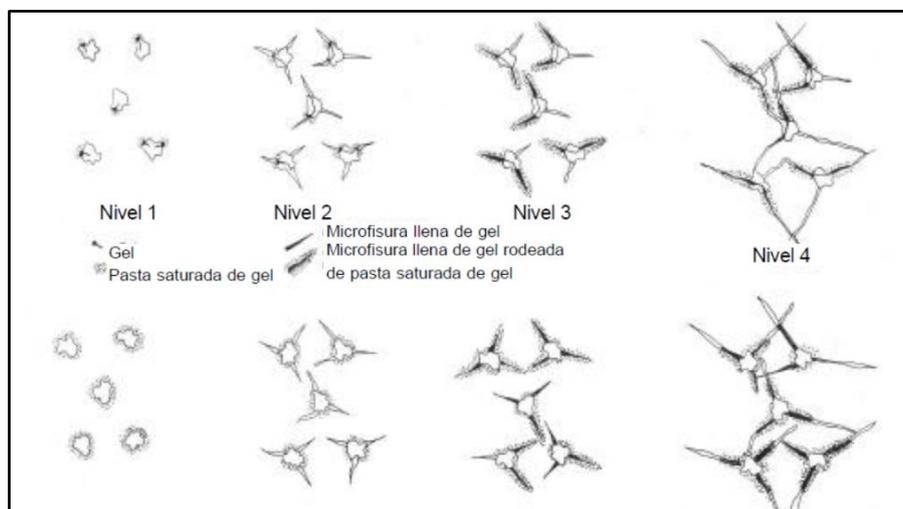
Paralelamente a esta reacción se produce además una reacción de neutralización ácido base entre los grupos silanol y los iones  $\text{OH}^-$  de la disolución alcalina.



*Reacción de neutralización ácido-base* (Lanza Fernández, (2012), Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, reactividad Alkali Sílice, p 823)

se muestran los diferentes niveles de formación de las fisuras debido a las tensiones internas:

- Nivel 1: el gel crece induciendo tensiones internas, pero no se dan microfisuras.
- Nivel 2: las tensiones inducidas son lo suficientemente grandes para causar microfisuras en la proximidad de las partículas reactivas, sólo ocurre una expansión insignificante.
- Nivel 3: el gel migra hacia algunas microfisuras y hay un lento fortalecimiento de las fuerzas internas
- Nivel 4: las fuerzas internas inducidas alrededor del gel que llena las microfisuras son lo suficientemente grandes para causar microfisuras extensivas y se pueden producir grandes expansiones.



*Figura. 07 Hobbs (1988), Modelo idealizado de cómo pueden inducirse las fisuras causadas por la reacción álcali-sílice*

### **2.2.1.2.3. Factores que afectan a la reacción**

Entre los factores que influyen en la reacción álcali-sílice destacan los siguientes:

- Propiedades de los materiales:
  - De los áridos: composición, granulometría.
  - Del cemento
- Humedad ambiental
- Temperatura
- Ataque por el agua dulce y medios ácidos
- Ataque por el agua dulce y medios ácidos.

#### **2.2.1.2.3.1. Propiedades de los materiales**

##### **a. Composición:**

Los áridos que componen los hormigones vienen de unas rocas que se encuentran en un estado distinto a sus condiciones naturales, por lo que evolucionarán hasta encontrar un nuevo equilibrio. Esto es lo que se conoce como reactividad, y dependerá tanto de los minerales como de las rocas de las que forman parte estos minerales. Por un lado, dependerá del tipo de mineral, y de su historia tectónica; y por otro, de la estructura, tamaño de los granos, porosidad, permeabilidad de la roca y de la composición de la misma.

Hay que tener en cuenta que a la hora de producirse la reacción, ésta será más rápida en tanto que más desordenada sea la estructura del mineral: si la forma de sílice está bien cristalizada o es relativamente densa, el ataque será superficial, mientras que si está pobremente cristalizada los iones hidroxilos y sodio o potasio entrarán en el interior, esto se puede apreciar en Figura 08 en el caso (A) los iones no pueden penetrar y el ataque se reduce a la superficie, lo contrario sucede en el caso (B).

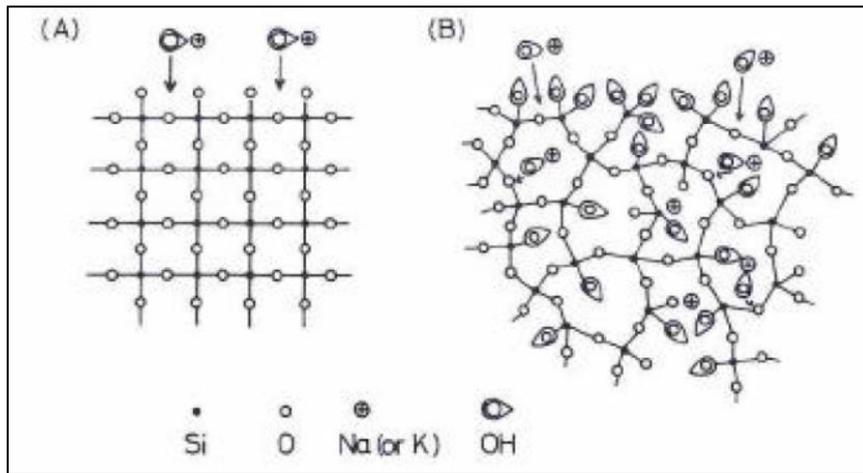
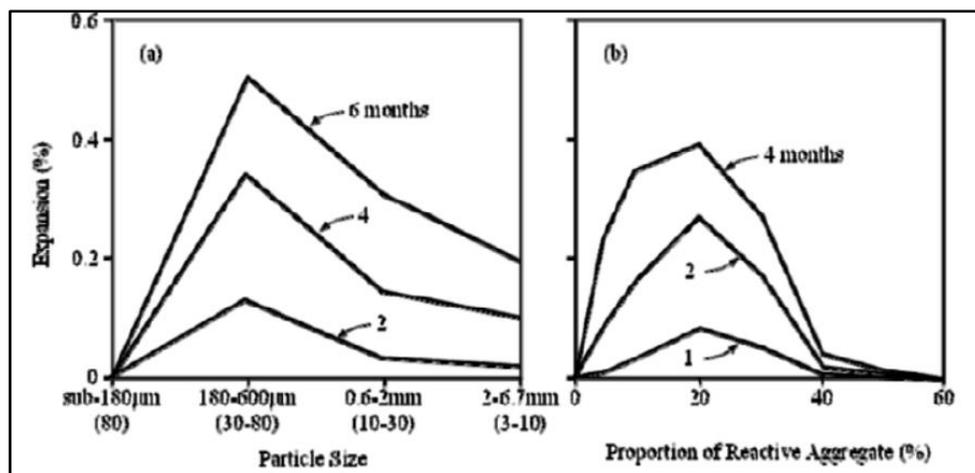


Figura. 08. Dent Glasser (1980) Ataque de los álcalis en sílice bien cristalizada (A) y en sílice amorfa (B)

### b. Influencia del tamaño de partícula

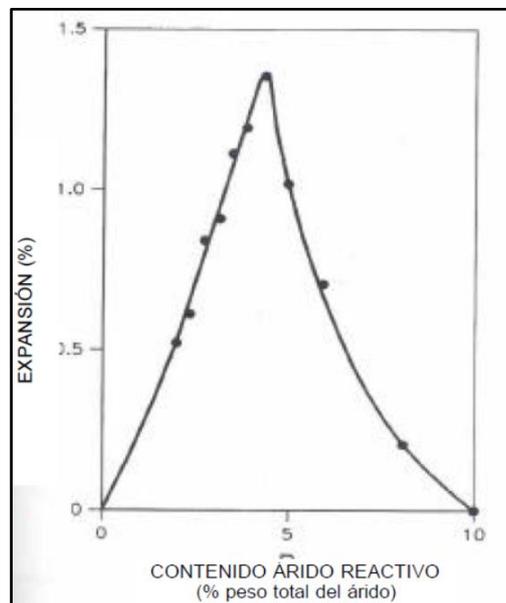
**Thomas E. Stanton (1940)** documentó el efecto que presentaba el tamaño de partículas con respecto a la reacción álcali sílice (Gráfica 09). En su estudio, las barras de mortero fabricadas con áridos con tamaños inferiores a las 180  $\mu\text{m}$  no sufrían expansión. Según el autor, esto podría ser debido a que (a) o bien la reacción era diseminada sin causar fuerza expansiva o (b) la reacción se completaba antes de que las barras de mortero se endurecieran.



Gráfica 09. Efecto de tamaño de partícula (a) y de la proporsión del árido reactivo (b) Stanton, Thomas E., (1940)

### c. Efecto Pésimo

**Hobbs (1988).** Si se comparan las expansiones que se producen al variar las proporciones de árido reactivo, se puede observar que se produce un pico para una proporción determinada. Es decir, que el comportamiento que se da es el siguiente: hasta un determinado porcentaje, la expansión aumenta a medida que lo hace el contenido de árido reactivo, pero se llega a un punto a partir del cual, al seguir aumentando la proporción de árido, la expansión disminuye. Esto es lo que se conoce como el efecto pésimo y se puede observar en la Figura 10.



*Figuro 10. ICOLD (boletín 79,1991):Influencia del contenido de áridos reactivos frente a la expansión.*

La explicación que se puede dar a este comportamiento es la siguiente: si la proporción de sílice reactiva en el total de los áridos es pequeña y está libre, será consumida rápidamente por la reacción y la cantidad de gel no será suficiente para provocar daños, mientras que si la proporción es grande, la concentración de iones alcalinos en el agua intersticial se reduce debajo de un cierto nivel durante el tiempo de endurecimiento del hormigón y por consiguiente el volumen de gel formado no provoca una expansión total.

Algo similar ocurre con la relación expansión / tiempo como se puede observar en la Figura 11, Hobbs (1988): para proporciones muy grandes o muy pequeñas no se dan expansiones, pero si miramos los valores intermedios, la expansión es mayor cuanto menor es la edad de comienzo de las expansiones, es decir, que con la proporción de árido reactivo del efecto pésimo además de comenzar antes a expandirse, esta expansión será la mayor posible.

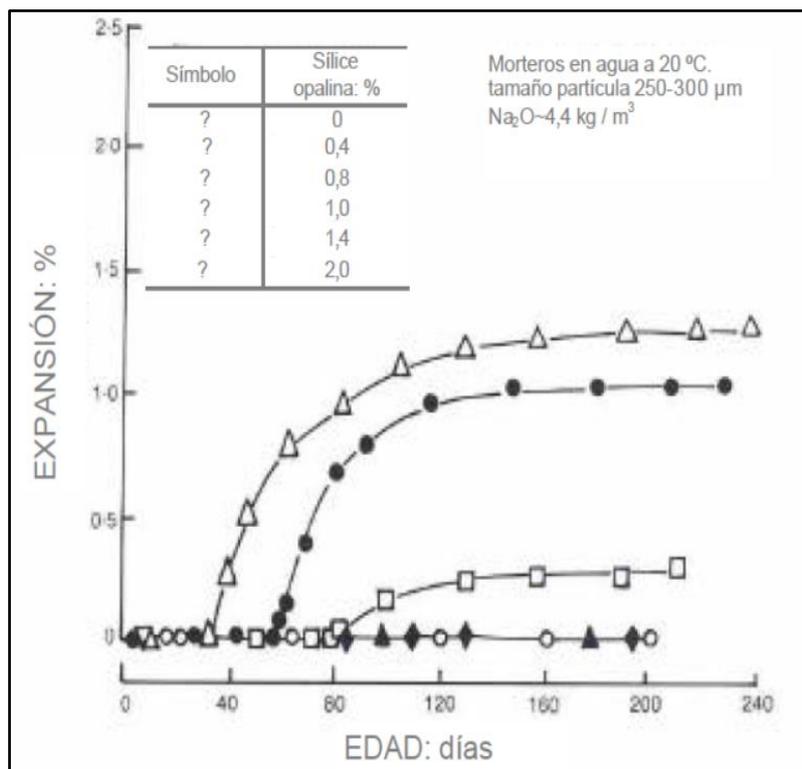


Figura 11. Hobbs (1988): Relación expansión – tiempo.

El efecto pésimo se esquematiza en la Figura 12 para relaciones agua / cemento y árido / cemento de 0,4 y 2,75 respectivamente y un contenido de álcali de 6 kg / m<sup>3</sup>, y su desarrollo se explica a continuación.

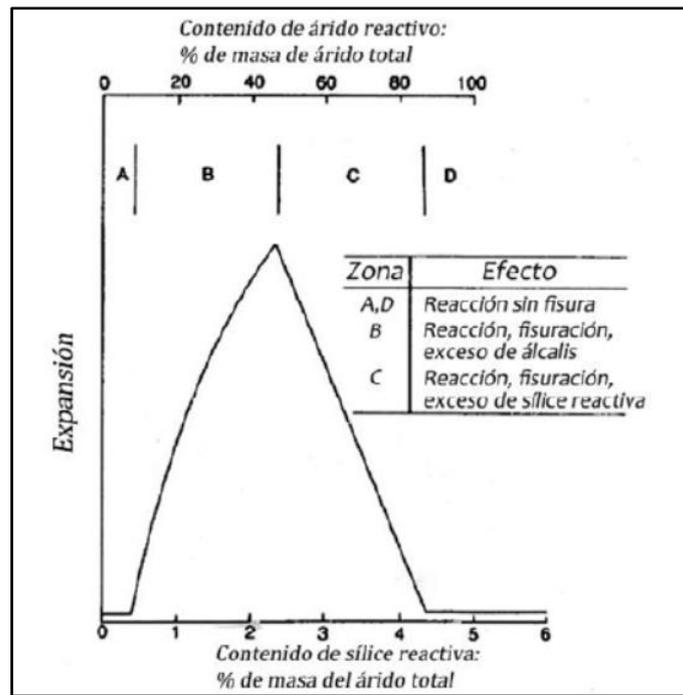


Figura 12. Hobbs, D. W. ,(1988) Alkali-Silica reaction in concrete. London, England Efecto pésimo en el hormigón.

En la Figura 12. Se puede apreciar 4 zonas bien marcadas:

- **Región A:** El contenido de sílice reactiva es bajo y crecimiento del gel después del hormigón se ha endurecido no es de la suficiente intensidad como para inducir fisuras. El crecimiento del gel ocurre sin ningún efecto adverso en el hormigón.
- **Región B:** La reacción continúa después de que el hormigón ha endurecido, y la intensidad de la reacción es suficiente para inducir fisuración. La expansión cesa cuando toda la sílice reactiva se ha reducido o cuando la reacción cae a un nivel lo suficientemente bajo. En esta región hay un exceso de álcalis.
- **Región C:** La reacción continúa después de que el hormigón se ha endurecido, se produce fisuración y la expansión cesa cuando los álcalis del agua intersticial son reducidos a un nivel umbral o se han reducido. En esta región hay un exceso de sílice reactiva.

- **Región D:** El contenido de sílice reactiva es tan alto y la reacción tan rápida que cuando el hormigón se ha endurecido, la velocidad de crecimiento del gel es demasiado lenta para inducir el agrietamiento. Pueden formarse grandes cantidades grandes de gel sin ningún efecto adverso en el hormigón.

#### **d. Granulometría**

La reacción álcali-sílice puede producirse al utilizar arena o bien grava procedente de un árido reactivo. Hay muchos casos en que la expansión y fisuración del hormigón se produce en presencia de áridos reactivos con un tamaño comprendido en el rango de 1 a 5 mm. (es decir, las partículas más gruesas de árido fino), aunque en algunos casos la reacción ha ocurrido en el árido grueso, Metha (1986). Esto se debe a que la cantidad de sílice que reacciona depende de la superficie específica del árido de modo que cuanto mayor sea la relación superficie / volumen, más cantidad estará disponible.

En el caso de la fracción arena, experimentalmente se ha comprobado que la expansión del hormigón es mayor cuánto menor el tamaño de la partícula, hasta llegar al tamaño de 75 mm. Por debajo de este tamaño, la reacción se produce de una manera muy dispersa, sin producir expansiones de importancia y no dando lugar a concentración de tensiones, por lo que la fisuración es menor. Metha (1986).

Por otro lado, en cuanto a la gradación de los áridos, cuando un árido fino reactivo se combina con un árido grueso inocuo, la porosidad del árido grueso afecta a la reactividad global, pues cuánto mayor es su porosidad, menor es el daño que produce, Alaejos y Bermúdez (2003). Esto es debido a que los poros actúan como cámara de expansión, de modo que los productos de la reacción, al aumentar de volumen, ocupan en primer lugar estos poros sin provocar tensiones adicionales.

Cuando se trata de árido grueso reactivo, la expansión es menor a una edad temprana, pero irá aumentando continuamente a lo largo del tiempo debido a que la superficie específica es menor que en un árido fino.

#### **e. Propiedades del cemento, álcalis**

Los álcalis sodio y potasio en el cemento tienen su origen en las materias primas usadas para la manufactura del cemento Pórtland, arcillas, piedras calizas, tizas, y esquistos y si el carbón se usa como combustible, también pueden venir de las cenizas de éste. Los compuestos alcalinos en el clínker son sulfatos alcalinos, álcali – aluminatos y aluminoferritas, y álcali – silicatos.

El contenido de ácido soluble de un cemento Pórtland se calcula convencionalmente como equivalente en óxido de sodio usando la fórmula siguiente:

$$(Na_2O)_e = Na_2O + 0,658 (K_2O)$$

*equivalente de óxido de sodio*

$$= \text{contenido en óxido de sodio} + 0,658 \cdot \text{contenido en} \\ \text{óxido de potasio}$$

Si los álcalis pueden provenir también de fuentes externas se calcula de la forma siguiente:

$$A = \{(C \cdot a) + (E \cdot d) + 0.76 \cdot [(NS \cdot MS) + (NC \cdot MC)]\}/100$$

donde:

- A: contenido en álcali reactivo del hormigón (kg / m<sup>3</sup>)
- C: contenido medio de cemento Pórtland en el hormigón (kg / m<sup>3</sup>) a contenido de álcali reactivo del cemento (%)
- E: contenido medio de escorias o cenizas en el hormigón (kg / m<sup>3</sup>)

- D: promedio de álcali reactivo en escorias o cenizas proporcionado por el fabricante (kg / m<sup>3</sup>)
- NS contenido en iones cloruro de la arena
- NC contenido en iones cloruro de árido grueso
- MS contenido de arena (kg / m<sup>3</sup>)
- MC contenido de árido grueso (kg/m<sup>3</sup>)

Variando el contenido de álcali de un cemento en un hormigón, cambia la concentración de ión hidroxilo, el contenido de álcali disponible y por tanto la relación sílice / álcali.

#### **2.2.1.2.3.2. Humedad ambiental**

**(Poole, Alan B. , (1992) *Introduction to alkali-silica reaction in concrete*).** Para que se produzca la reacción álcali - sílice se necesita un cierto contenido de agua. Se considera que no se producirá daño, o que su evolución cesará, si la humedad ambiental es inferior al 80 %, suponiendo el aire como la única fuente de humedad.

Hay que tener en cuenta, que determinadas estructuras de hormigón, como las presas, están en contacto permanente con agua. Éstas, tienen por un lado, contacto permanente con la misma en el paramento aguas arriba y por otro, en su interior, dado que el hormigón tiene un cierto grado de permeabilidad, también habrá cierto grado de humedad.

Como la mayoría de las reacciones químicas, la reacción álcali-sílice necesita la presencia de agua (figura 13). Se han estimado que la cantidad de agua necesaria para que se produzca la expansión se encuentra estimada entre un 65 y un 80 %

Esta representa un doble papel en el deterioro del hormigón:

- Actúa como un mecanismo de transporte de los alcalinos y de los iones hidroxilo. La humedad contribuye al movimiento de los alcalinos dentro del hormigón por una acción de bombeo
- El gel formado en la reacción es higroscópico con lo que la presencia de agua favorece la expansión del mismo por absorción de agua disponible a su alrededor.

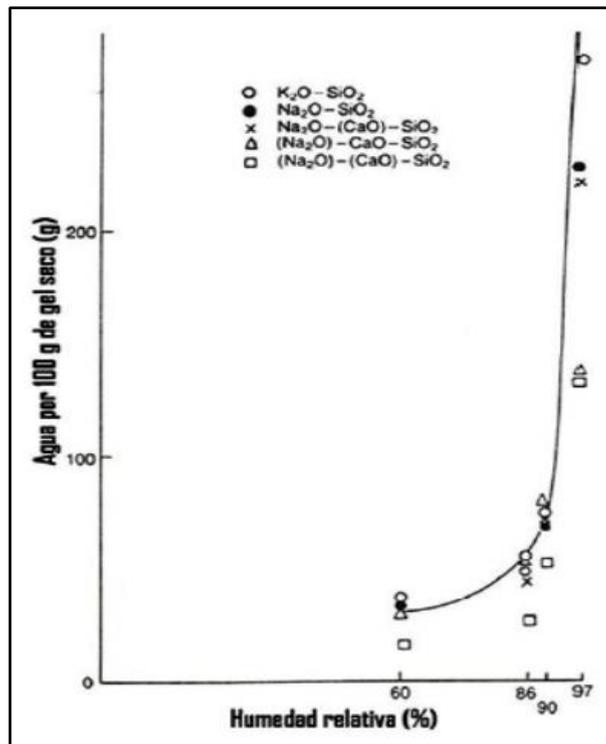


Figura 13 Hobbs, D. W. ,(1988) Alkali-Silica reaction in concrete. London, England, Humedad relativa

Esta última consideración indica que la formación de geles en la reacción no causa la degradación del hormigón, sino que ésta se produce como consecuencia de la absorción del agua gel y su consecuente expansión.(Figura 14).

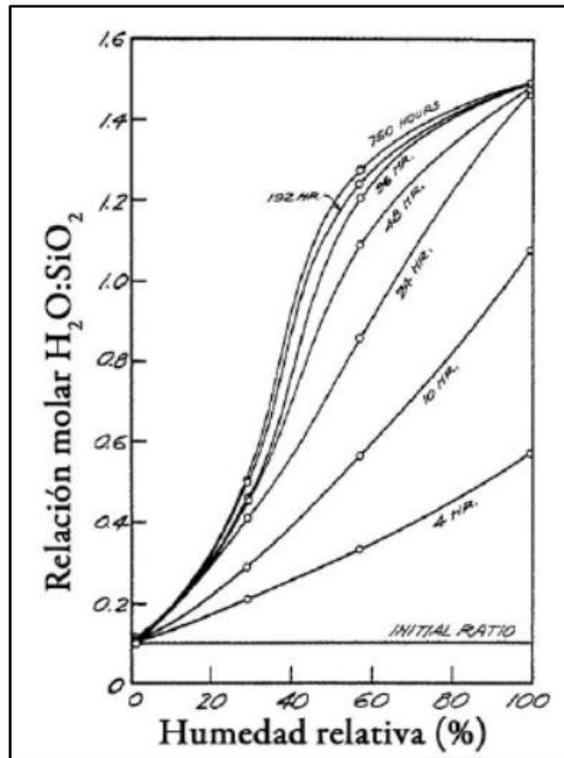


Figura 14 Hobbs, D. W. , (1988) Alkali-Silica reaction in concrete. London, England, Absorción del agua por el gel álcali sílice

**Poole, Alan B. , (1992) Introduction to alkali-silica reaction in concrete**, p 1-29.

La reacción es capaz de formar geles con un contenido muy bajo de humedad inicial que expandirán y ejercerán presión en cuanto dispongan de agua accesible. Se ha visto también que un aporte de agua posterior a la deshidratación parcial de los productos de la reacción álcali sílice pueden volver hidratarlos y provocar nuevas expansiones.

Es más, si la reacción química ha permanecido parada por falta de suministro de agua en algunas partes de la estructura, el nuevo aporte de agua puede provocar la reactivación de la reacción álcali sílice en el hormigón y la formación de nuevos geles álcali-sílice. Por tanto, el hormigón desarrollará nuevas expansiones, siempre y cuando el máximo potencial de expansión no haya sido alcanzado debido a una falta de agua.

**Lane, D., Stephen, (1995) Specification Approaches. 3<sup>th</sup> Annual Symposium-International Center for Aggregates Research (ICAR).** Existen dos formas de evitar la humedad en el hormigón.

- Un hormigón con baja relación agua/cemento es menos susceptible porque la disposición de agua dentro del hormigón es menor y porque la permeabilidad del mismo se reduce.
- Un hormigón con mayor relación agua/cemento produce una menor concentración de alcalinos y un hormigón que secará antes debido a la elevada permeabilidad que presenta.

Cuando se utiliza áridos potencialmente reactivos debe considerarse si la obra estará emplazada en un ambiente con elevada humedad. La proximidad del nivel freático a la superficie, la falta de escurrimiento de agua de lluvia y los ciclos de humectación y secado, contribuyen al desarrollo de la reacción álcali-sílice.

#### **2.2.1.2.3.2. Temperatura**

**Poole, Alan B. , (1992) .** En general, la velocidad de reacción y la formación de gel aumentan con la temperatura. Pero hay que tener en cuenta que al mismo tiempo, el gel a altas temperaturas es menos viscoso y se introduce mejor por las fisuras y huecos del hormigón, pudiendo disiparse en parte la expansión.

#### **2.2.1.2.4. Efecto visible de reacción Álcali sílice**

**Poole, Alan B. , (1992) Introduction to alkali-aggregates reaction in concrete.**

Las estructuras afectadas por la reacción muestran típicamente los siguientes signos: fisuración, expansión, desalineaciones de elementos estructurales, exudaciones de gel. Estas características no son concluyentes de que se está produciendo la reacción álcali sílice ya que también son comunes a otras patologías de origen físico y químico que pueden afectar al hormigón. La característica mas

común en la observación de las estructuras afectadas es la fisuración en la superficie. El patrón de fisuración es el desarrollo de polígonos irregulares en forma de mapa. Si la estructura presenta unos esfuerzos previos, el desarrollo de fisuras suele orientarse en la dirección de los esfuerzos.

Generalmente los bordes de las fisuras están decolorados, rosáceos o marrones extendiéndose varios milímetros a ambos lados de la fisura. Dependiendo de los componentes reactivos que tengan los áridos del hormigón se observa la deformación de ciertos patrones de fisuración como se aprecia en la figura 15.

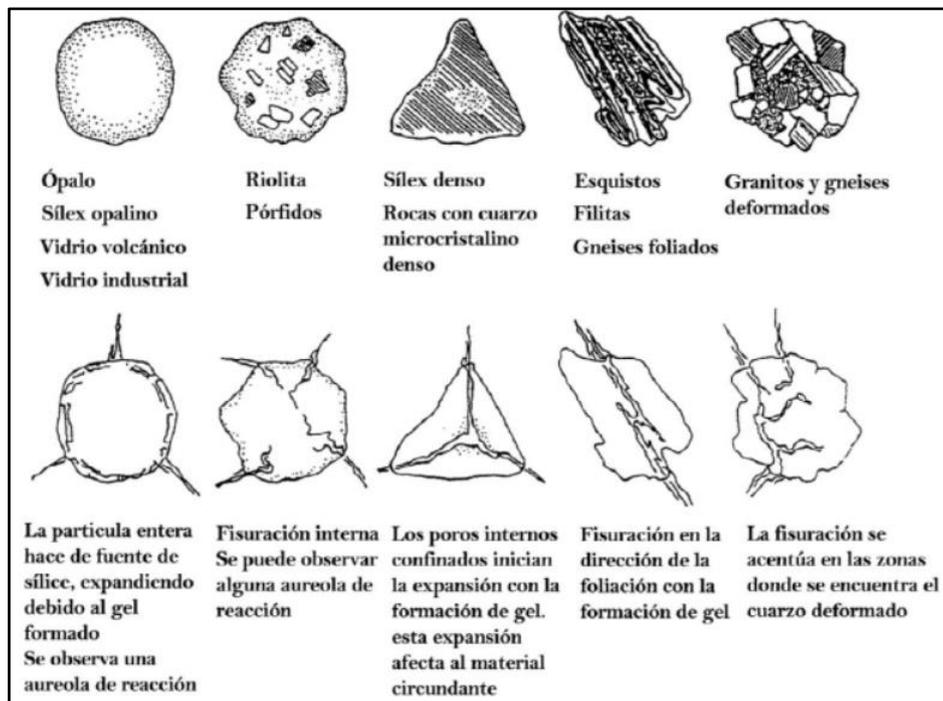


Figura 15, Ferraris, C.F (1995), *Alkali-silica reaction in high performance concrete*. Pp. 24.  
Tipos de fisura en función del componente reactivo

Para áridos de reacción lenta, la reacción se inicia con microfisuras preexistentes, zonas heterogéneas preexistentes, zonas heterogéneas o límites de granos que actúan como canales de acceso de solución porosa. En estos casos se forma muy poca cantidad de gel pero con fuerza suficiente como para separar las distintas partes del árido y provocar su fisuración. Así, por ejemplo, la delimitación sucede en rocas que presenta una fuerte foliación mientras que las fisuras inter e

intergranulares ocurren básicamente en rocas como cuarcitas, donde existe una separación entre los cristales monocristalinos. En áridos de reacción rápida, con partículas muy finas, la disolución se observa tanto alrededor de la partícula como dentro de ella.

#### 2.2.1.2.5. Definición de rocas silíceas

**(Klein, Cornelis y Hurlbut, carnelius., (1998) Manual de minaralogía. Barcelona).** La reacción álcali-sílice se origina con rocas de naturaleza silícea y/o silicada. Como roca silícea se entiende a aquella que está compuesta en su mayoría por sílice, como las cuarcitas. Como roca silicada se entiende aquella que está compuesta predominantemente por minerales correspondientes al grupo de los silicatos, cuya estructura esta formada por tetraedros  $SiO_2$  unidos entre ellos y dispuestos en el espacio siguiendo diferentes estructuras atómicas. (Figura 16).

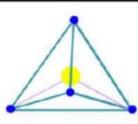
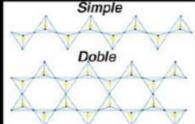
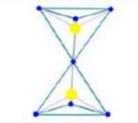
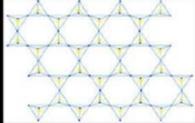
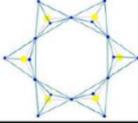
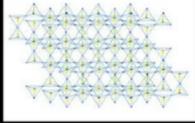
<b>Nesosilicato</b>		<b>Inosilicato</b>	
<b>Sorosilicato</b>		<b>Filosilicato</b>	
<b>Ciclosilicato</b>		<b>Tectosilicato</b>	

Figura 16- Clasificación de los silicatos (Klein, Cornelis y Hurlbut, carnelius., (1998) Manual de minaralogía. Barcelona)

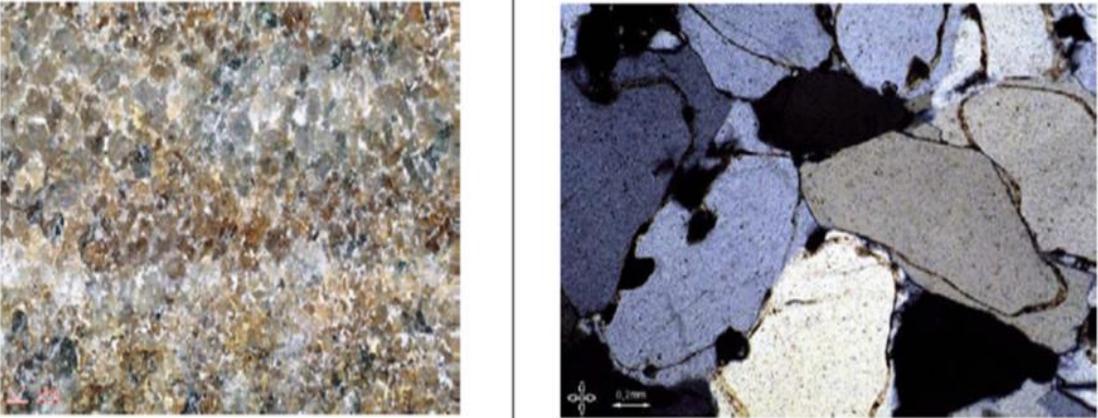
Los silicatos se dividen en nesosilicatos (tetraedros independientes de silíceo, epidota), sorosilicatos (dos tetraedros unidos), ciclosilicatos (cadenas circulares de tetraedros de silicio), inosilicatos (cadenas de tetraedros de silicio, anfíboles), filosilicatos (capas de tetraedros de silicio, micas) y tectosilicatos (estructuras tridimensionales de tetraedros de silicio, cuarzo y feldespatos).

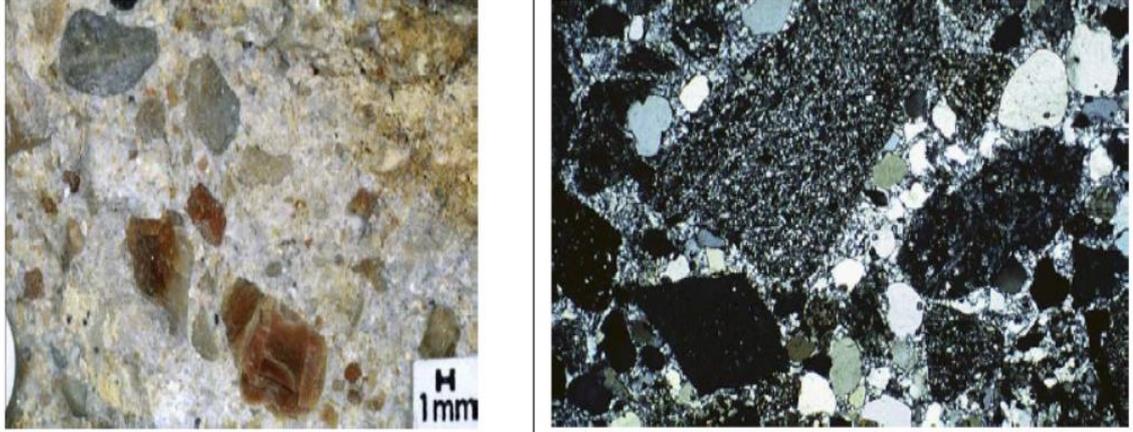
### 2.2.1.2.5. Origen de la roca y la reacción álcali sílice

Las formas reactivas de la sílice para este tipo de reacción puede hallarse en un amplio número de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, así como en depósitos sin consolidar de éstas.

#### 2.2.1.2.5.1. Rocas Sedimentarias

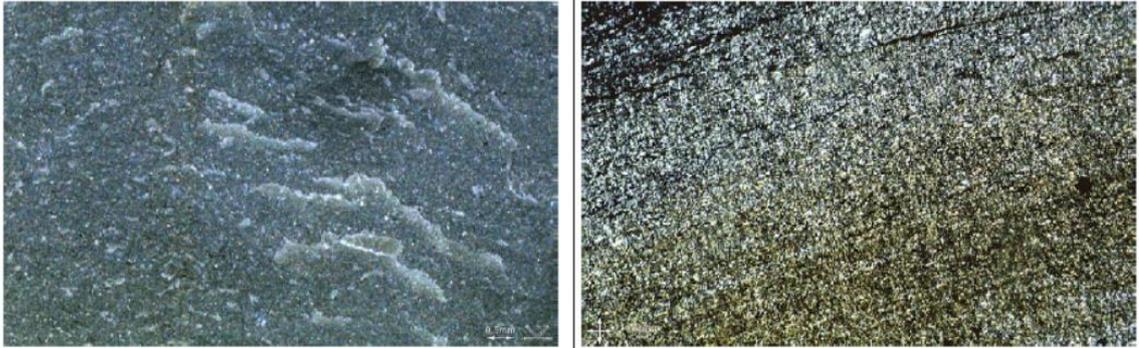
Se distinguen dos grandes grupos: rocas siliciclásicas, rocas químicas y bioquímicas.

ROCA	ARENISCA
<b>Descripción</b>	Roca detrítica de grano medio compuesta por fragmentos de tamaño arena embebidos en una matriz de grano fino y/o un material cementante con la sílice, óxidos de hierro o carbonatos. Las partículas de arena están compuestas en su mayoría por cuarzo ( 85-90%). cuando la cantidad de cuarzo es mayor del 95% se denomina cuarzoarenita (atigua ortocuarcita)
<b>Posibles componentes reactivos</b>	Cuarzo microcristalino con matriz arcillosa Más de 30% de cuarzo deformado con un ángulo de extinción ondulante y cuarzo microcristalino
<b>Referencias</b>	Lorenzi, Gabriel, (2006), Petrographic atlas of the potentially alkali-silica rokcs
<b>Fotografías</b>	
	
<b>ROCA</b>	<b>CONGLOMERADO</b>

<b>Descripción</b>	Roca detrítica de grano grueso compuesta por más de un 50% de fragmentos de roca redondeados englobados por un mineral cementante o por una matriz de grano fino. El origen de este tipo de áridos hace que se pueda encontrar tanto cuarcitas como cristales de cuarzo deformado como cantos de sílice o jaspe con cristales de tamaño microcristalino.
<b>Posibles componentes reactivos</b>	Cuarzo microcristalino y cuarzo deformado
<b>Referencias</b>	Lorenzi, Gabriel, (2006), Petrographic atlas of the potentially alkali-silca rokcs
<b>Fotografías</b>	
	

<b>ROCA</b>	<b>ARGILITA</b>
<b>Descripción</b>	Roca compactada derivada de limos y arcillas que han sufrido un mayor endurecimiento, sin laminación ni fisibilidad como la pizarra.
<b>Posibles componentes reactivos</b>	Cuarzo microcristalino
<b>Referencias</b>	Lorenzi, Gabriel, (2006), Petrographic atlas of the potentially alkali-silca rokcs

## Fotografías

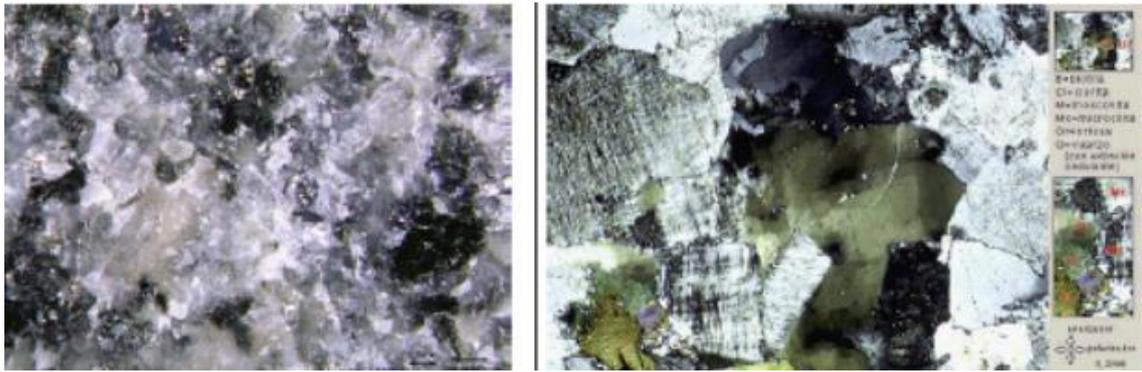


### 2.2.1.2.5.2. Rocas Igneas

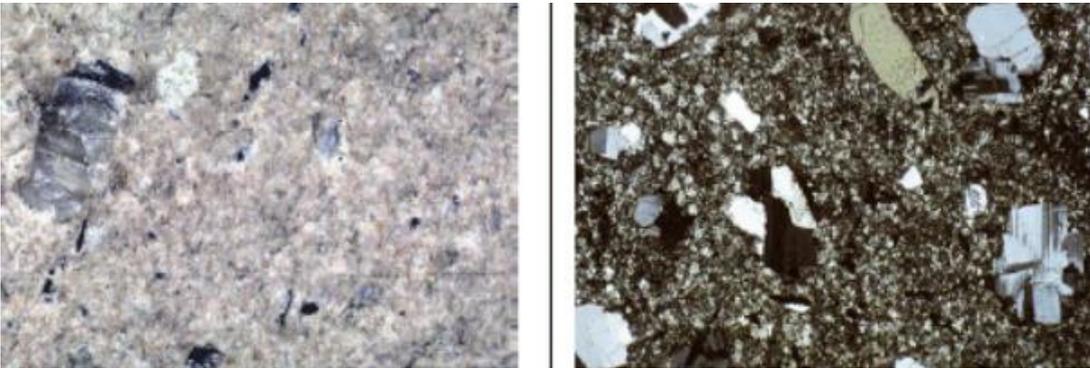
**(Joyce, A. S . (1996) *Petrographic aspects of alkali-silica reaction in eastern Australian concretes p 767-774*). Son rocas formadas por la solidificación de material fundido originado en el interior de la tierra.**

Rocas plutónicas son granitos, granodioritas, cuarzosienitas, cuarzodioritas y poseen composiciones de cuarzo entre el 5 y el 40 %. Dependiendo de la composición del magma inicial podemos clasificar las rocas como:

- Ultrabásicas (menos del 45 % de sílice)
- Básicas (entre el 45 y el 52% de sílice)
- Intermedias (ntre el 52 y el 66% de sílice)
- Ácidas ( más del 66% de sílice)

<b>ROCA</b>	<b>GRANODIORITA</b>
<b>Descripción</b>	Roca plutónica muy parecida al granito. Se encuentra entre la composición ácida y la básica. Esta compuesta comunmente por anfíboles, plagioclasa, piroxeno y cuarzo
<b>Posibles componentes reactivos</b>	Cuarzo microcristalino
<b>Referencias</b>	Lorenzi, Gabriel, (2006), Petrographic atlas of the potentially alkali-silca rokcs
<b>Fotografías</b>	
	

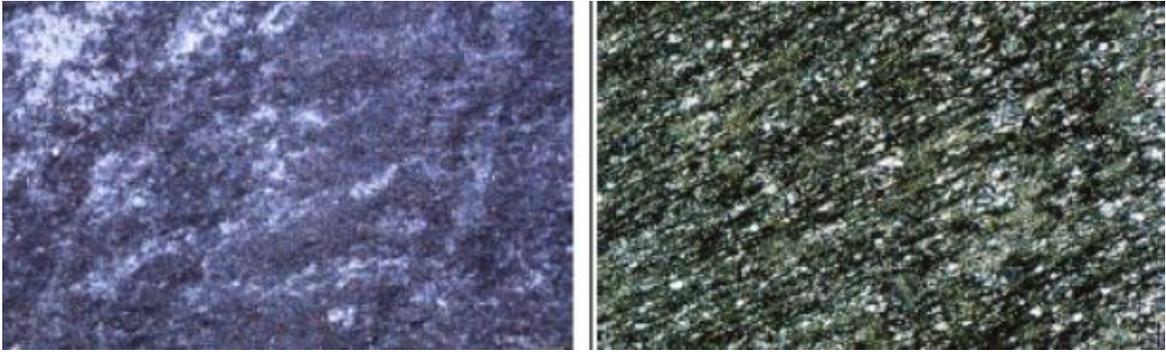
<b>ROCA</b>	<b>RIOLITA</b>
<b>Descripción</b>	Equivalente volcánico del granito, compuesta por ferrocristales de cuarzo y feldesatos alcalinos embebidos en una masa microcristalina.
<b>Posibles componentes reactivos</b>	Cuarzo microcristalino

<b>Referencias</b>	Lorenzi, Gabriel, (2006), Petrographic atlas of the potentially alkali-silica rocks
<b>Fotografías</b>	
	

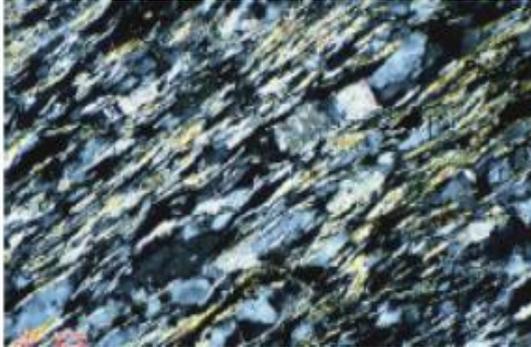
**2.2.1.2.5.2. Rocas Metamórficas**

Son rocas derivadas de otras preexistentes a través de cambios mineralógicos, químicos y/o estructurales, principalmente en estado sólido, como respuesta a cambios en la temperatura, presión, deformación y ambiente químico. Estos cambios se producen principalmente en la corteza profunda de la tierra.

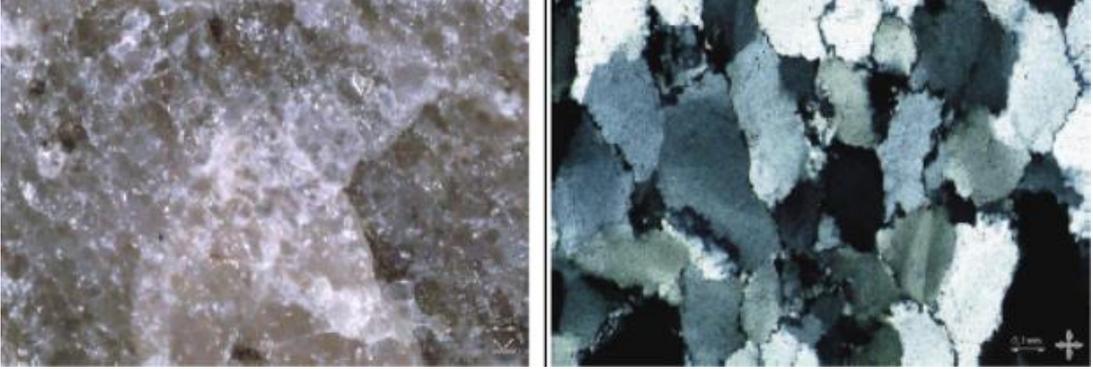
El cuarzo es uno de los minerales constituyentes de este tipo de rocas. Este muestra siempre signos de deformación, como la extinción ondulante, ya que es una característica típica en donde son predominantes las deformaciones plásticas causadas por presiones dinámicas, está alargado y alineado, lo que hace que estas rocas sean potencialmente reactivas.

ROCA	PIZARRA
<b>Descripción</b>	Roca de muy bajo grado de metamorfismo, procedente del metamorfismo de las arcillas. Es una roca compacta de grano fino donde los cristales no son vsibles a simple vista y su tamaño es menor que el de los minerales de las filitas.
<b>Posibles componentes reactivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más del 30 % de cuarzo deformado y cuarzo microcristalino.</li> <li>• Cuarzo microcristalino muy deformado y cn límites de granos pobremente cristalizados.</li> </ul>
<b>Referencias</b>	British Estándar, (1999) Guide to the interpretation of petrographical examinations for alkali-silica reactivity.
<b>Fotografías</b>	
	

ROCA	FILITA
<b>Descripción</b>	Roca procedente del metamorfismo de las arcillas, de bajo grado de metamorfismo, con tamaño de cristales mayor que el de las pizarras pero menor al del esquisto

<p><b>Posibles componentes reactivos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más del 30 % de cuarzo deformado y cuarzo microcristalino.</li> <li>• Cuarzo microcristalino muy deformado y con límites de granos pobremente cristalizados.</li> </ul>
<p><b>Referencias</b></p>	<p>British Estándar, (1999) Guide to the interpretation of petrographical examinations for alkali-silica reactivity.</p>
<p><b>Fotografías</b></p>	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	

ROCA	CUARCITA
<p><b>Descripción</b></p>	<p>Roca granoblástica constituida principalmente por cristales de cuarzo formada a partir de la recristalización de areniscas o silex por metamorfismo regional. La presencia de cristales de tamaño muy fino y de cuarzo deformado junto con una gran cantidad de silice hacen que esta roca se clasifique como potencialmente reactiva.</p>
<p><b>Posibles componentes reactivos</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Más del 30 % de cuarzo deformado y cuarzo microcristalino.</li> <li>• Cuarzo microcristalino muy deformado y con límites de granos pobremente cristalizados.</li> </ul>

<b>Referencias</b>	British Estándar, (1999) Guide to the interpretation of petrographical examinations for alkali-silica reactivity.
<b>Fotografías</b>	
	

**2.2.3. MÉTODOS DE ENSAYO**

**2.2.3.1. MÉTODO QUÍMICO (ASTM C289)**

*El ensayo químico esta normalizado por la norma ASTM C289*, empleado en la clasificación del árido. Este método permite conocer la reactividad de los áridos por vía química.

Se machaca un árido para obtener la fracción comprendida entre 150 y 300 µm. del resultado se toman 3 muestras de 25 g. después de que la muestra haya sido atacada por una disolución de NaOH a 80 °C durante 24 horas se mide, una vez filtrada la disolución, la sílice disuelta y la reducción de la alcalinidad. Según estos valores se clasifican en áridos con la ayuda de la gráfica.

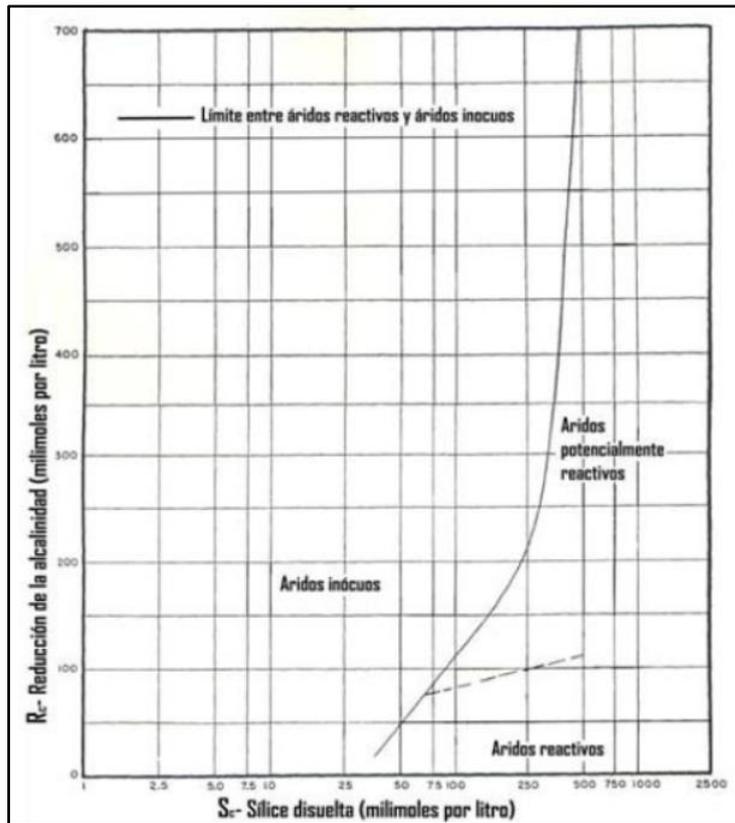


Figura 18- Deformación de la reactividad por el método químico. (2001) Standard test method for potential alkali-silica reactivity of aggregates (chemical method)

Método químico acelerado se muestra en la figura 18, donde se presenta los áridos con cuarzo deformado y que han sido clasificados como reactivos por el método de las barras de mortero a 60 °C. La mayoría de los áridos se clasifican como inocuos si el test dura 24 horas pero con el aumento del tiempo del experimento a 7 días. Los áridos con cuarzo deformad se desplazan hacia la zona de potencialmente reactivos

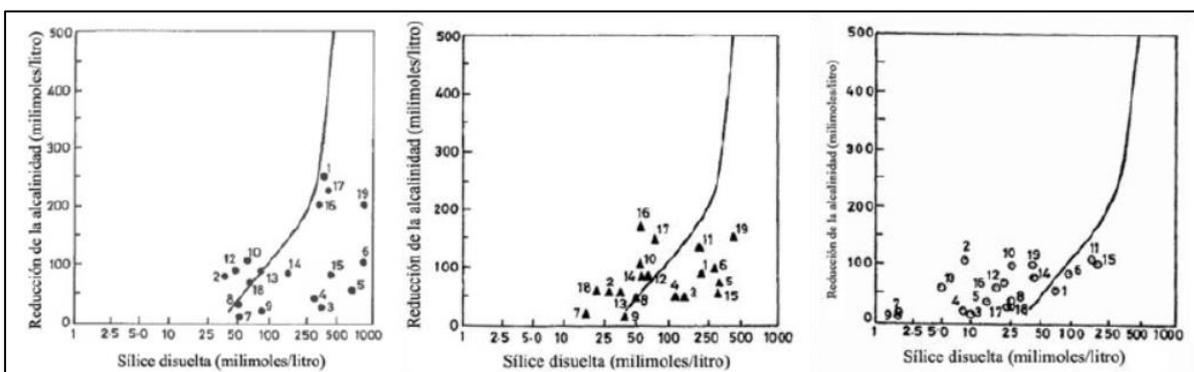


Figura 19- Método químico a 24 horas, 3 y 7 días

En la figura se presentan los áridos sin cuarzo deformado y que han sido clasificados como no reactivos por el método de barras de mortero. Estos áridos permanecen en la zona de no reactivos después de 7 días. Estos resultados indican que este método puede aplicarse para áridos de reacción lenta si desplazamos el límite hacia la izquierda o aumentamos el tiempo de ensayo.

Al observar que prolongando el tiempo de ataques se podría detectar áridos lentos, se desarrolló el ensayo químico- cinético.

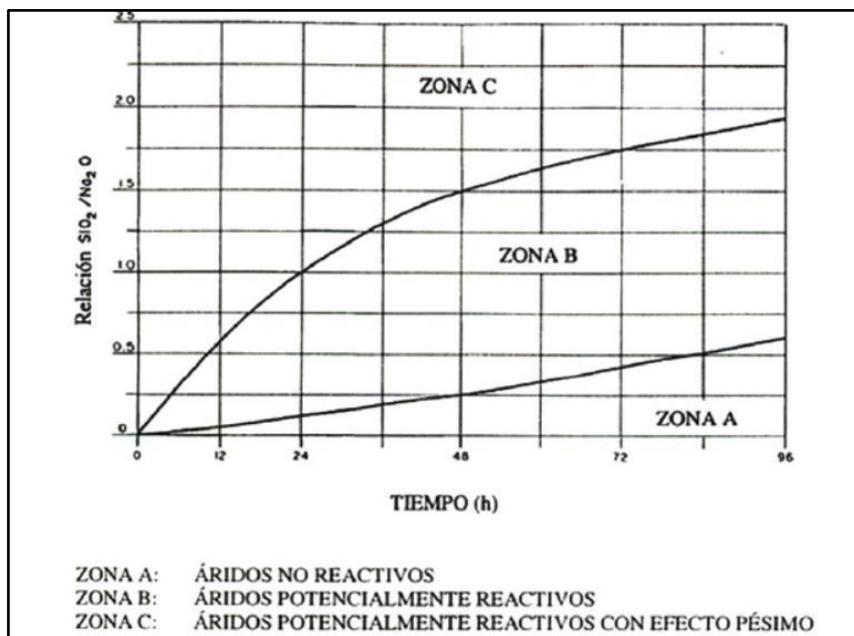


Figura 20- Clasificación de la reactividad potencial de los áridos Método químico cinético

### LIMITACIONES:

Estos ensayos químicos dan sólo una indicación de la reactividad del árido pero no sobre la agresividad del mismo en el hormigón, sobre todo en materiales cercanos a los límites de la categoría estándar.

Han fallado al reconocer áridos reactivos o inócuos debido a que los valores límite de separación de zonas propuestos en los ensayos no son aplicables a todos los áridos.

Este ensayo no valora el efecto de la granulometría en el hormigón, es decir, no valora si el árido reactivo se encuentra en la fracción gruesa o en la fina.

### **2.2.3.2. MÉTODO ENSAYO DE BARRAS DE MORTERO (ASTM 1260)**

**(ASTM C 1260).** Este ensayo se presenta como una mejora del ensayo de barras de mortero ASTM C227, cuya mayor diferencia es el aumento de la temperatura a los 80 °C de la disolución de NaOH, lo que permite tener resultados en los 14 días. Se trata de un método ampliamente utilizado en muchos países. En 1994, el trabajo se completa con la publicación del cual ensayo acelerado de barras de mortero ASTM C 1260.

Las diferencias entre los métodos está en la granulometría empleada, el tiempo de curado después de desmoldar, la medida de las edades y los límites de expansión sugeridos por cada uno puede variar.

La relación cemento/ árido con la que se fabrica el mortero es de 1:2.25 y la relación agua/cemento de 0,47. Se elaboran al menos tres probetas por cada árido a ensayar. El tamaño de las probetas es de 25 mm x 25 mm x 287 mm.

Para el ensayo de la ASTM 1260 y la UNE los criterios de expansión son:

- Si la expansión a 14 días es menor de 0.10 % el árido es no reactivo.
- Si la expansión a 14 días es mayor de 0.20 % el árido es reactivo.
- Si la expansión a 14 días está comprendida entre el 0.10% y el 0.20% se deberá prolongar el tiempo de ensayo a 28 días.

Otros autores, en lugar de establecer un valor concreto como límite, asignan un rango de expansiones para clasificar el árido como reactivo, no reactivo o marginal, como se muestra en la gráfica 21.

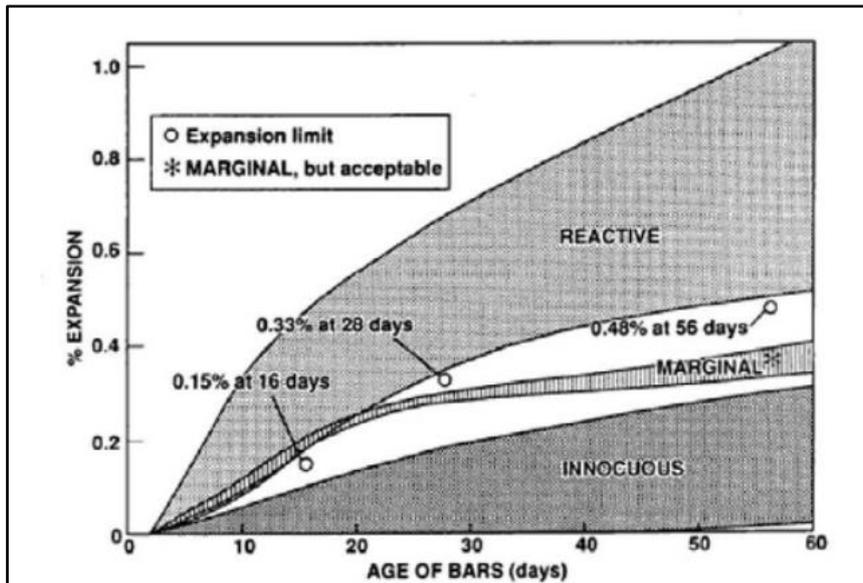


Figura 21- Rango en las expansiones de barras. Hooton, R. D., (1995) Test procedures for ASR.

### LIMITACIONES:

Puede resultar un método muy conservador ya que clasifica algunos áridos inocuos como reactivos.

Debido al alto contenido de alcalinos de la disolución, el contenido de alcalinos presente en el cemento no tiene apenas repercusión en la expansión de las barras de mortero con lo que el ensayo no puede evaluar diferentes combinaciones árido-cemento. Para otros autores sin embargo, el contenido en alcalinos y la superficie específica son factores importantes que afectan a la expansión en las barras de mortero.

Tampoco puede ser evaluado el efecto puzolánico de las adiciones. El efecto puzolánico basa su efectividad en el hecho de que las adiciones consiguen reducir la presencia de alcalinos libres en la disolución de los poros del cemento. En este ensayo se suministra una cantidad ilimitada de alcalinos, con los que en los poros se presenta constantemente alcalinos en disolución.

## **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. MATERIALES Y EQUIPOS**

#### **3.1.1. MATERIALES**

- Cemento portland que cumpla los requisitos de la norma ASTM C 150.  
Cemento puzolánico Yura IP
- Agregados de la cantera de río “Roca Fuerte” - Baños del Inca.
- Agregados de la cantera Rio Mashcón - Baños del Inca.
- Agregados de la cantera de cerro El Gavilán
- Agua potable
- Hidróxido de sodio (NaOH)

#### **3.1.2. EQUIPOS**

- Prensa universal de compresión axial Amsler.
- Tamices: De aberturas cuadradas, de malla de alambre conforme a la ASTM E 11.
- Mezclador, paleta y tazón de mezcla
- Apisonador y badilejo: El apisonador y badilejo estarán de acuerdo con lo establecido en la NTP 334.051.
- Deflectómetro o deformímetro
- Balanzas con aproximación de 0.1g y 0.01g.
- Regla metálica graduada al milímetro.
- Vernier metálico graduada al milímetro.
- Bandejas metálicas.
- Equipos de escritorio (Computadora, impresora, calculadora científica, Útiles de escritorio, etc).

- Recipientes: Los recipientes deberán ser de una naturaleza tal que las barras puedan sumergirse totalmente ya sea en agua o en una solución de NaOH 1 N. Los recipientes deberán fabricarse de un material que puedan soportar una prolongada exposición a 80 °C y deberá ser resistente a una solución de NaOH 1N (Nota 1). Los recipientes deberán ser construidos de tal manera que cuando se usen para almacenamiento de especímenes; Las barras en la solución deberán estar colocadas y sostenidas de tal manera que la solución cubra toda la superficie de la barra; por tanto, deberá asegurarse que los especímenes no toquen las paredes del recipiente o no se toquen unos a otros.
  - ✓ NOTA 1: La solución de NaOH degradará a los recipientes de vidrio o corroerá a los de metal.
  - ✓ NOTA 2: Se ha encontrado que son aceptables los recipientes de cierre hermético para almacenar alimentos en microondas fabricados de polipropileno o polietileno de alta densidad.
- Estufa o baño maría: Una estufa de convección o baño de agua con temperatura controlada que mantenga una temperatura de 80 °C + 2,0 °C.
- Cámara fotográfica.

### 3.1.3. REACTIVOS

- **Solución de hidróxido de sodio (NaOH):** Se utilizó de grado técnico, a condición que se demuestre mediante análisis químico que las concentraciones de Na<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup> estén entre 0,99 N y 1,01 N.
- **Pureza del agua:** A menos que se indique otra cosa, cuando se hace referencia al agua se entenderá que significa agua reactiva de acuerdo al Tipo IV según lo indicado en la norma ASTM D 1193.

## **3.2. METODOLOGÍA**

### **3.2.1. LOCALIZACIÓN**

La investigación se realizó con el estudio de 3 canteras. La primera cantera “Roca Fuerte”, “Cantera Chávez”, “Cantera Gavilán”.

#### **CANTERA ROCA FUERTE**

##### **Ubicación:**

Se encuentra aproximadamente a 2750 m.s.n.m., al noreste de la ciudad de Cajamarca en el distrito de Baños del Inca a orillas del río Chonta.

##### **Geología del lugar**

Esta cantera está constituida por grandes acumulaciones de material fluvial, acumulado en ambos márgenes del río Chonta, formando terrazas discontinuas de aproximadamente 0.90m. De potencia. El material se caracteriza por su litología consistente en cantos rodados de formas ovoides demostrando haber recorrido una gran distancia y haberse sujetado al fenómeno de fricción que generalmente favorece la forma redondeada de los fragmentos rocosos.

Generalmente se halla constituida de calizas, traquitas, areniscas, tufos volcánicos, andesitas entre otros.

#### **CANTERA EL GAVILÁN**

##### **Ubicación:**

Cantera de cerro El Gavilán, Se encuentra a 3250 m.s.n.m., al sur este de la ciudad de Cajamarca en las faldas del cerro Ventanilla cerca del Abra El Gavilán al costado derecho de la carretera Cajamarca – Pasamano.

##### **Geología del lugar**

La unidad litológica predominante es casi homogénea consiste en una alternancia de areniscas cuarzos en la parte inferior y cuartillas blancas en bancos gruesos en la parte superior de la roca. La roca se encuentra muy fracturada además hay presencia de oxidaciones de hierro que le da un color característico. El material

representativo de la cantera es una roca perteneciente a la formación Chimú ubicado en el piso inferior del cretáceo. Las muestras correspondientes al primer estrato están construidas por arenas y gravas aluviales con material orgánico que le da un color gris oscuro, las muestras de los estratos más profundos son areniscas cuarzos bastante profundas de color blanquecino amarillento o rojizo.

### **CANTERA RIO MASHCÓN**

#### **Ubicación:**

Se encuentra a la altura del kilómetro dos de la carretera Cajamarca-Bambamarca, en la margen izquierda al noreste de la ciudad de Cajamarca

#### **Geología del lugar**

El material se caracteriza por su litología consistente en cantos rodados de formas ovoides demostrando haber recorrido una gran distancia y haberse sujetado al fenómeno de fricción que generalmente favorece la forma redondeada de los fragmentos rocosos.

### **3.2.2. PERIODO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación se realizó durante un periodo de seis meses, desde Julio del 2016 hasta noviembre del 2016.

### **3.2.3. VARIABLES**

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>INDICADOR</b>
Naturaleza de los agregados	Álcali proveniente de los agregados	➤ Ensayo de pruebas de barras de mortero.
Diámetro de los testigos	Variación de la longitud	➤ Ensayo de pruebas de barras de mortero.

### **3.2.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Investigación de tipo cuasi experimental.

### **3.2.5. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Experimental aplicada.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables de Estudio	Técnica
¿Cómo identificar los efectos de la reacción álcali sílice y los efectos expansivos que estas generan?	EL objetivo principal de esta investigación es identificar los efectos de la reacción álcali sílice y los efectos expansivos que estas generan, así como implementar y dar a conocer un método efectivo para la detección de la reacción álcali sílice en un corto plazo.	La reacción álcali sílice produce efectos expansivos debido a sustancias reactivas nocivas de los agregados afectando en la durabilidad del concreto.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Álcali proveniente de los agregados</li> </ul>	Ensayo de Barras de Mortero
¿La reacción álcali sílice presentes en Los agregados de las canteras de Cajamarca causa efectos de expansión en el concreto?	Evaluar si la Reacción Álcali-Sílice en los agregados para el concreto es nociva, mediante la evaluación de la variación longitudinal de las barras de mortero.	<ul style="list-style-type: none"> <li>La composición mineralógica de los agregados influye en la reacción Álcali Sílice.</li> <li>La Reacción Álcali-Sílice en los agregados es nociva para el concreto.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Variación de la longitud</li> </ul>	<p>Técnicas de procesamiento y análisis comparativo de información (Técnicas establecidas)</p> <p>Técnicas de procesamiento y análisis de información (Técnicas establecidas)</p>

### 3.3. ENSAYOS DE LOS AGREGADOS

La selección de los agregados se realizó en 3 canteras: la primera cantera Roca Fuerte, se encuentra aproximadamente a 2750 m.s.n.m., al noreste de la ciudad de Cajamarca en el distrito de Baños del Inca a orillas del río Chonta.



*Figura 22. Selección de agregados cantera Roca Fuerte.*

La segunda cantera de cerro El Gavilán, Se encuentra a 3250 m.s.n.m., al sur este de la ciudad de Cajamarca en las faldas del cerro Ventanilla cerca del Abra El Gavilán al costado derecho de la carretera Cajamarca – Pasamano



*Figura 23. Selección de agregados cantera de cerro el Gavilán.*

### 3.3.1. ENSAYO DE PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN

Para determinar los pesos específicos y absorción del agregado fino se procedió de acuerdo al establecido en la NTP 400.022:2002, ASTM C-128.

- El equipo necesario para realizar el ensayo es: balanza (sensibilidad 0.1 gr), frasco volumétrico (capacidad 500cm<sup>3</sup>), molde cónico (diámetro menor 4cm – diámetro mayor 9cm – altura 7.5cm), barra compactadora (diámetro 25mm – peso 340g), estufa (110°C – 115°C).
- Por método del cuarteo se obtuvo aproximadamente 1750gr de muestra de agregado fino, luego se puso a secar a la estufa a 110 °C durante 24 horas.
- Luego se saturó la muestra con agua y se la dejó reposar durante 24 horas.
- Después se extendió la muestra en una superficie plana expuesta a la corriente en aire para asegurar un secado uniforme.
- Luego se colocó en el molde cónico y se golpeó la superficie 25 veces con la barra de metal, se levantó el molde verticalmente observando que se desmoronó el cono de arena, lo cual indica que la muestra ha alcanzado su condición de saturado con superficie seca.
- Se separó una muestra de 500gr del material preparado, se lo introdujo el frasco y se llenó con agua hasta alcanzar la marca de 500 cm<sup>3</sup>, después de una hora se determinó el peso total del agua introducida en el frasco.
- Se retira la muestra de agregado fino del frasco y se seca a peso constante en la estufa a 110 °C durante 24 horas.
- Se retira la muestra de agregado fino de la estufa y registra el peso.
- Finalmente con las siguientes fórmulas se determinan los resultados.

$$P_{em} = \frac{W_0}{(V - V_a)}$$

$$P_{emss} = \frac{500}{(V - V_a)}$$

$$P_{ea} = \frac{W_0}{(V - V_a) - (500 - W_0)}$$

$$Abs \% = \frac{(500 - W_0) \times 100}{W_0}$$

Donde:

- $P_{em}$ : Peso específico de masa (gr/cm<sup>3</sup>).
- $P_{emss}$ : Peso específico de masa saturada con superficie seca (gr/cm<sup>3</sup>).
- $P_{ea}$ : Peso específico aparente (gr/cm<sup>3</sup>).
- $W_0$ : Peso en el aire de la muestra secada al horno (gr).
- $V$ : Volumen del frasco (500cm<sup>3</sup>).
- $V_a$ : Peso en (gr) o volumen (cm<sup>3</sup>) del agua añadida al frasco.
- Abs (%): Absorción del agregado fino.



Figura 24. Selección del agregado fino por cuarteo, frasco lleno con la muestra y el agua hasta la marca de 500cm<sup>3</sup>.

### 3.3.2. ENSAYO DE PESOS UNITARIOS

Para determinar los pesos unitarios de los agregados se procedió de acuerdo al establecido en la NTP 400.017:2011, ASTM C-29.

El equipo necesario para realizar el ensayo es: balanza (sensibilidad 0.5 gr), barra compactadora (5/8" de diámetro – 60cm largo), recipiente cilíndrico y de metal.

El recipiente se calibrará determinando el peso del agua requerido para llenarla a 16.7 °C. El factor (f) se obtendrá dividiendo el peso unitario del agua entre el peso requerido para llenar la medida.

$$f = \frac{1 \text{ gr}}{\text{cm}^3 W_a (16.7^\circ\text{C})}$$

Las muestras a emplear en los ensayos de pesos unitarios deben estar completamente secas a temperatura de ambiente.

Para el caso del peso unitario compactado usaremos el método del apisonado, el cual consiste en llenar el recipiente en 03 capas y en cada capa compactar con la varilla 25 veces.

Para el caso del peso unitario suelto se llena el recipiente con una cuchara dejándolo caer desde una altura no mayor a 5cm hasta enrasar.

Finalmente expresaremos los resultados con la siguiente fórmula.

$$P.U = W_s * f$$

Donde:

- P.U: Peso unitario (kg/cm<sup>3</sup>).
- W<sub>s</sub>: Peso neto del agregado (gr).
- f: factor de corrección (1/cm<sup>3</sup>).

### **3.3.3. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA**

Para determinar el ensayo granulométrico de los agregados se procedió de acuerdo al establecido en la NTP 400.012:2013, ASTM C-136.

Se seleccionó una muestra de agregado fino de aproximadamente 2000gr y de agregado grueso de 4000gr, para luego secarlos a peso constante en la estufa a 110°C durante 24 horas.

Se colocó la muestra en la malla superior del juego de tamices, dispuestos en forma decreciente, según la abertura, y se procedió al tamizado agitando de forma manual.

Si en el transcurso de un minuto, no pasa más del 1% en peso del material retenido sobre el tamiz la operación de tamizado se dará por concluida.

El tamaño máximo nominal del agregado está dado por la abertura de malla inmediata superior a la que retiene el 15% o más de agregado grueso tamizado.

El módulo de finura es un indicador del grosor predominante en el conjunto de partículas de un agregado. Así mismo pueden considerarse como el tamaño promedio ponderado, pero no representa la distribución de las partículas.

$$MF = \frac{\sum Ret. acumulado\%(3", 112", 34", 38" N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100)}{100}$$



Figura 25. Juego de tamices empleado en el ensayo granulométrico.

### 3.3.4. ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

Para determinar el ensayo de contenido de humedad de los agregados se procedió de acuerdo al establecido en la NTP 339.185:2002, ASTM C-566.

Se colocó la muestra húmeda a ensayar en un depósito (peso conocido) y se registró ese peso, luego se colocó a la estufa a 110°C durante 24 horas.

Se retiró de la estufa y se registró el peso seco.

Finalmente la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco. Peso de la muestra húmeda ( $P_h$ ), peso de la muestra seca ( $P_s$ ).

$$P\% = \frac{P_h - P_s}{P_s}$$

### 3.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL MORTERO

Para realizar el ensayo a resistencia a compresión del mortero se tuvo en cuenta la norma NTP 334.110:2010, ASTM 1260.

La toma de las muestras se realizó con muestras de las 3 canteras seleccionadas.

Se utilizó probetas cilíndricas de 5cm de diámetro y 10cm de altura para la preparación de 60 muestras.

El curado de las probetas de mortero se realizó en un cilindro, saturadas totalmente en agua.

En ensayo se realizó a los 28 días, dividiendo la carga máxima (Carga máx.) entre el área de la sección promedio ( $A_s$ ); se llama resultado de la prueba al promedio de los resultados de los 60 ensayos ( $X$ ) y resistencia característica del mortero ( $f'_{mo}$ )

a:

$$f_{mo} = \frac{Cargamáx}{A_s}$$

$$f'_{mo} = X(1 - 1.3\sigma)$$

Donde

- $\sigma$  es la desviación estándar de la prueba.



Figura 26. Toma de medidas del mortero, ensayo a compresión del mortero, tipo de falla corte diagonal del mortero.

### **3.5. ENSAYO PARA DETERMINAR LA REACTIVIDAD POTENCIAL ALCALINA DE AGREGADOS (MÉTODO DE LA BARRA DEL MORTERO)**

#### **3.5.1. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO**

**3.5.1.1. Selección del agregado:** Se Procesó los materiales destinados a usarse como agregado fino en hormigón (concreto) como se describe en el apartado 3.3.6.1.2. Preparación de agregado, con un mínimo de trituración. Procesar los materiales destinados a usarse como agregado grueso en hormigón (concreto) mediante trituración para producir en lo posible un producto gradado del cual se pueda obtener una muestra. Gradar la muestra cómo se prescribe en la Tabla 1. La muestra representará la composición del agregado grueso tal como se propone usarlo.

Cuando un determinado material de cantera está destinado a ser utilizado tanto como agregado grueso como agregado fino, ensayarlo solamente mediante la selección de una muestra apropiada triturada a los tamaños de los agregados finos, a menos que exista una razón para esperar que las fracciones de los tamaños del agregado grueso tengan una composición diferente que los tamaños más finos y que estas diferencias puedan significativamente afectar la expansión debida a la reacción con los álcalis del cemento o del ambiente del servicio. En tales casos ensayar las fracciones de tamaño más grueso de una forma similar a los empleados en los ensayos de los tamaños del agregado fino.

**3.5.1.2. Triturar los agregados:** Gradar los agregados que serán evaluados por este método, de acuerdo a los requisitos prescritos en la Tabla 2. Triturar los agregados hasta producir suficiente cantidad de material de los tamaños requeridos por la Tabla 2. En el caso de agregados que contengan insuficientes cantidades de uno o más de los tamaños mayores listados en la Tabla 2, y si no se dispone de más material de tamaños mayores para triturar, el primer tamaño del cual se tenga

suficiente cantidad, contendrá el porcentaje acumulativo del material debajo de tal tamaño como se determinó de la gradación especificada en la Tabla 2. Cuando tales procedimientos sean requeridos, hacer una nota especial aparte en el informe de ensayo. Después que el agregado haya sido separado en los distintos tamaños de tamiz, lavar cada fracción de tamaño aplicando un chorro de agua sobre el tamiz para remover el polvo adherido y las partículas finas del agregado. Secar las porciones retenidas sobre los distintos tamices y, a menos que no sean utilizadas inmediatamente, almacenar cada porción de tamaño individualmente en un recipiente limpio provisto de una tapa de cierre hermético.

**TABLA No. 2 – Requisitos de gradación**

Tamaño del tamiz		Porcentaje en peso (%)
Tamiz que pasa	Tamiz que retiene	
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)	15



*Figura 27. Gradación del agregado según la tabla N° 1 de la cantera Roca Fuerte.*



Figura 28. Gradación del agregado según la tabla N° 1

### 3.5.2. SELECCIÓN Y PREPARACIÓN DEL CEMENTO

#### 3.5.2.1. Cemento de referencia:

Utilizar cemento Pórtland que reúna los requisitos de la norma ASTM C 150, de la NTP 334.009 (Nota 3).

Nota 3: Se ha encontrado que el contenido de álcali del cemento tiene efectos insignificantes o menores sobre la expansión en este ensayo.



Figura 29. Cemento IP Yura. Norma técnica ASTM C150 NTP 334.09

### **3.5.2.2. Preparación del cemento:**

El cemento se pasó a través del tamiz de 850 µm (Nº 20) para remover grumos antes de su uso.

### **3.5.3. PREPARACIÓN DE PROBETAS DE ENSAYO**

#### **3.5.3.1. Preparación de los moldes**

Se preparó los moldes de las probetas de acuerdo con los requerimientos de la NTP 334.076, las superficies interiores del molde han sido cubiertas con un agente desmoldante. Un agente de división sin afectar el tiempo de fraguado del cemento y sin que libere residuo que inhibiría la penetración de agua dentro de la probeta.

#### **3.5.4. PROPORCIONAMIENTO DEL MORTERO**

Se dosificó los materiales secos para los morteros de ensayo usando 1 parte de cemento a 2,25 partes por masa de agregado gradado con una densidad relativa (OD) a o por arriba de 2.4.5. Para agregados con una densidad relativa (OD) debajo de 2.4.5 determinar la proporción de agregado como sigue:

$$\text{Proporción de agregado} = 2,25 \times \frac{D}{2.65}$$

Donde:

- D = la densidad relativa seca al horno del agregado.

Para agregados con una densidad relativa seca al horno igual o mayor a 2.45, las cantidades de materiales secos que hayan de ser mezclados de una sola vez para una amasada de mortero suficiente para hacer tres especímenes de ensayo, deben ser: 440g de cemento y 990g de agregado conformado recomblando las fracciones retenidas en los varios tamices de la graduación prescrita en el Cuadro 1. Se debe usar una relación agua-cemento de 0.47 en masa (véase Nota 5).

Para agregados con una densidad relativa seca al horno menor de 2.45. Las cantidades de materiales a mezclar de una sola vez para hacer tres especímenes de ensayo, deben ser: 440g de cemento y una masa de agregado igual a 440g

multiplicados por la porción de agregados. Esta masa de agregado debe ser hecha recombinando las porciones retenidas en los varios tamices de la graduación prescrita en el cuadro 1. Se debe usar una relación agua-cemento de 0.47 en masa

NOTA 5 – Algunos ensayos han indicado que las expansiones de barras de mortero fueron menos variables para una relación agua-cemento fija que cuando se evaluaron para un flujo constante.

### **3.5.5. Mezclado del mortero**

El mortero se mezcló de acuerdo con los requisitos de la práctica ASTM C 305.

### **3.5.6. Moldeo de los especímenes de ensayo**

Los especímenes de ensayo se moldearon dentro de un tiempo total no mayor de 2 min y 15 s después de haber completado el mezclado original de la amasada de mortero. Se llenaron los moldes en dos capas aproximadamente iguales compactando cada capa con el apisonador. Se debe presionar el mortero en las esquinas, alrededor de los tornillos de contacto y a lo largo de las superficies del molde, usando el apisonador hasta que se obtenga un espécimen homogéneo. Después de que la capa superior haya sido compactada, cortar a ras del tope del molde la rebaba de mortero y alisar la superficie con algunos deslizamientos de la espátula.

### **3.5.7. PROCEDIMIENTO**

#### **3.5.7.1. Almacenaje inicial y medición de las barras**

Se colocó cada molde en el gabinete o el cuarto de curado, inmediatamente después de que haya sido llenado. Los especímenes deben permanecer en los moldes por  $24 \pm 2$ h. Luego se sacan los especímenes de los moldes, y mientras se les protege de la pérdida de humedad se les identifica y se hace una lectura inicial con el comparador de longitud.

Esta lectura inicial y todas las demás lecturas subsecuentes se hacen con una aproximación al más cercano 0.002 mm. Se colocan los especímenes hechos de

cada muestra de agregado en un recipiente de almacenaje con suficiente agua potable para que queden totalmente sumergidos.



Figura 30. Desmolde de las barras de mortero 25x25x285 mm



Figura 31. Codificación de las barras de mortero 25x25x285 mm

Se sellan y se colocan los recipientes de almacenaje en un horno de convección o en un baño de agua mantenidos a una temperatura de  $80 \pm 2.0$  °C ( $176 \pm 3.6$  °F) por un período de 24h.



Figura 32. Almacenamiento de las barras de mortero



Figura 33. Curado de las barras de mortero



Figura 34. Almacenaje en horno de convección a una temperatura de 80 °C (176 °F).

### **3.5.7.2. Lecturas de cero**

Se sacan los recipientes del baño a temperatura constante de uno en uno a la vez. Se sacan los otros recipientes de almacenaje solo hasta que las barras del primer recipiente de almacenaje hayan sido medidas y retornadas al baño a temperatura constante. El tiempo transcurrido entre retirar y retornar los especímenes al baño a temperatura constante no debe exceder de 10.0 min. Las barras deben sacarse una a la vez del agua y debe secarse su superficie con una toalla poniendo especial atención a los dos tornillos de los extremos. Se toma la lectura cero (véase Nota 6) de cada barra, inmediatamente después de que haya sido secada y se hace la lectura tan pronto las barras estén colocadas en el aparato medidor. Se completa el proceso de secado y lectura dentro de los  $15 \pm 5$  s después de haber sido sacado del agua, el espécimen. Después de hacer las lecturas se deja el espécimen en una toalla, hasta que todas las lecturas comparativas hayan sido hechas sobre las restantes barras. Luego se colocan todos los especímenes hechos de la muestra de cada agregado, en un recipiente separado de almacenaje con suficiente solución 1N NaOH, a  $80 \pm 2^\circ\text{C}$  ( $176 \pm 3.6^\circ\text{F}$ ) para que los especímenes queden totalmente sumergidos. Se sella el recipiente de almacenaje y se regresa al horno de convección o al baño de agua.

Nota 6 - La barra de referencia del aparato medidor debe ser leída previamente a la lectura de cada grupo de especímenes, ya que el calor de las barras de mortero puede causar que la lectura del aparato medidor cambie.

### 3.5.7.3. Almacenaje y lecturas subsecuentes

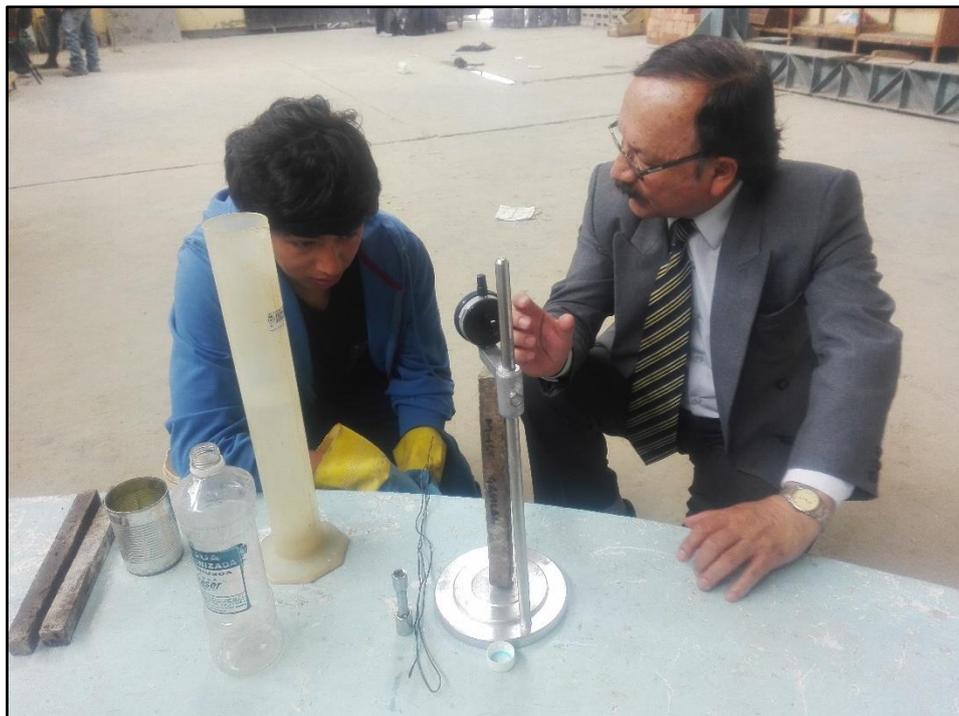
Se realiza lecturas subsecuentes comparativas de los especímenes periódicamente, con por lo menos tres lecturas intermedias por el período de 14 días después de realizar la lectura cero, y aproximadamente a la misma hora cada día. Si las lecturas se continúan más allá del período de 14 días, se recomienda tomar por lo menos una lectura por semana. El procedimiento es idéntico al descrito en 9.2 lecturas de cero. Excepto que los especímenes se regresan a su propio recipiente de almacenaje después de cada medición.



*Figura 35. Lecturas de los especímenes de barras de mortero.*



*Figura 36. Lecturas de los especímenes de barras de mortero a los 1,5 días*



*Figura 37. Lecturas de los especímenes de barras de mortero a los 14 días*

## **CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **5.1. VARIABILIDAD DIMENSIONAL DE LONGITUD**

En este ensayo se determinó la variación de dimensiones de las barras de mortero respecto a lo especificado por la norma.

Del Cuadro 03, las medidas promedio determinadas en el ensayo son largo=285.16mm, ancho=2.52mm y altura=2.53mm.

Se calcula la diferencia entre la lectura cero del espécimen en el comparador de longitud y la lectura de cada período, al más cercano 0.001% de la longitud de base efectiva y se registra como la expansión del espécimen para dicho período. Se informa la expansión promedio de tres especímenes de una combinación dada de cemento-agregado, con una aproximación de 0.01% como la expansión para esa combinación para un período dado.

En el siguiente cuadro se muestran las variaciones de longitud de las barras de mortero de las tres canteras ensayadas, tomadas las lecturas de 1,5, 8,11 ,14 días.

**CANTERA RIO CHONTA ROCA FUERTE**

**TABLA N° 03 RESUMEN VARIACIÓN DE LONGITUD DE BARRAS DE MORTERO**

CANTERA ROCA FUERTE												
PROBETAS N°	LONGITUD (mm)	Lect. Inic.	Lectura 1	1 día	Lectura 5	5 día	Lectura 8	8 día	Lectura 11	11 día	Lectura 14	14 día
				% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		
M-1	285.30	7.955	7.958	0.0010	8.029	0.0259	8.099	0.0505	8.236	0.0984	8.409	0.1592
M-2	285.40	7.970	7.970	0.0000	8.045	0.0262	8.108	0.0483	8.239	0.0941	8.404	0.1522
M-3	285.10	7.670	7.674	0.0015	7.761	0.0321	7.848	0.0625	8.018	0.1219	8.232	0.1972
M-4	285.20	7.605	7.609	0.0015	7.677	0.0253	7.746	0.0494	7.880	0.0963	8.049	0.1557
M-5	285.00	7.605	7.608	0.0010	7.672	0.0236	7.736	0.0461	7.861	0.0898	8.019	0.1453
M-6	285.30	7.710	7.716	0.0021	7.792	0.0287	7.870	0.0559	8.021	0.1091	8.213	0.1765
M-7	285.10	7.550	7.553	0.0012	7.617	0.0236	7.681	0.0461	7.806	0.0898	7.964	0.1453
M-8	285.20	7.450	7.455	0.0016	7.527	0.0270	7.600	0.0527	7.743	0.1027	7.924	0.1661
M-9	285.40	7.810	7.814	0.0015	7.882	0.0253	7.951	0.0494	8.085	0.0963	8.254	0.1557
M-10	285.00	7.620	7.620	0.0000	7.689	0.0243	7.755	0.0474	7.883	0.0924	8.046	0.1495
M-11	285.00	7.620	7.623	0.0012	7.678	0.0203	7.733	0.0395	7.839	0.0770	7.975	0.1246
M-12	285.20	7.450	7.453	0.0012	7.515	0.0230	7.578	0.0448	7.699	0.0873	7.853	0.1412
M-13	284.80	7.490	7.493	0.0010	7.544	0.0189	7.595	0.0369	7.695	0.0719	7.821	0.1163
M-14	286.00	7.750	7.753	0.0010	7.806	0.0196	7.859	0.0382	7.963	0.0744	8.094	0.1204
M-15	285.00	7.650	7.655	0.0017	7.737	0.0304	7.819	0.0592	7.979	0.1155	8.182	0.1868
M-16	285.00	7.651	7.654	0.0009	7.717	0.0233	7.780	0.0454	7.903	0.0886	8.059	0.1432
M-17	285.20	7.500	7.506	0.0020	7.560	0.0209	7.616	0.0408	7.727	0.0796	7.867	0.1287
M-18	285.10	7.551	7.555	0.0015	7.623	0.0253	7.692	0.0494	7.825	0.0963	7.995	0.1557
M-19	285.10	7.610	7.615	0.0018	7.697	0.0304	7.779	0.0592	7.939	0.1155	8.143	0.1868

M-20	285.30	7.635	7.640	0.0016	7.712	0.0270	7.785	0.0527	7.928	0.1027	8.109	0.1661
M-21	285.40	7.710	7.713	0.0010	7.758	0.0169	7.804	0.0329	7.893	0.0642	8.006	0.1038
M-22	285.00	7.660	7.660	0.0000	7.729	0.0243	7.795	0.0474	7.923	0.0924	8.086	0.1495
M-23	284.00	7.540	7.546	0.0021	7.641	0.0354	7.736	0.0691	7.923	0.1348	8.159	0.2180
M-24	285.20	7.650	7.653	0.0010	7.724	0.0259	7.794	0.0505	7.931	0.0984	8.104	0.1592
M-25	285.40	7.705	7.708	0.0012	7.763	0.0203	7.818	0.0395	7.925	0.0770	8.060	0.1246
M-26	285.00	7.650	7.654	0.0015	7.722	0.0253	7.791	0.0494	7.924	0.0963	8.094	0.1557
M-27	285.20	7.680	7.683	0.0012	7.748	0.0240	7.813	0.0468	7.940	0.0913	8.101	0.1476
M-28	285.30	7.675	7.679	0.0014	7.755	0.0280	7.831	0.0546	7.979	0.1065	8.166	0.1722
M-29	285.00	7.652	7.655	0.0010	7.709	0.0200	7.763	0.0390	7.869	0.0761	8.003	0.1230
M-30	285.30	7.653	7.657	0.0015	7.739	0.0300	7.820	0.0585	7.978	0.1141	8.179	0.1845
M-31	285.40	7.653	7.656	0.0012	7.721	0.0240	7.787	0.0468	7.913	0.0913	8.074	0.1476
M-32	285.10	7.653	7.658	0.0016	7.744	0.0320	7.831	0.0624	8.000	0.1217	8.214	0.1968
M-33	285.00	7.653	7.658	0.0016	7.744	0.0320	7.831	0.0624	8.000	0.1217	8.214	0.1968
M-34	285.30	7.653	7.660	0.0024	7.790	0.0480	7.920	0.0936	8.063	0.1437	8.235	0.2041
M-35	285.10	7.653	7.658	0.0018	7.756	0.0360	7.853	0.0702	8.043	0.1369	8.180	0.1850
M-36	285.20	7.653	7.659	0.0021	7.773	0.0420	7.887	0.0819	8.060	0.1428	8.246	0.2078
M-37	285.40	7.653	7.656	0.0012	7.724	0.0248	7.798	0.0507	7.913	0.0913	8.074	0.1476
M-38	285.00	7.653	7.657	0.0015	7.721	0.0240	7.797	0.0507	7.932	0.0980	8.074	0.1476
M-39	285.00	7.653	7.656	0.0010	7.724	0.0250	7.786	0.0468	7.870	0.0761	8.004	0.1230
M-40	285.20	7.653	7.657	0.0013	7.716	0.0220	7.772	0.0416	7.875	0.0777	8.006	0.1239
M-41	284.80	7.653	7.658	0.0017	7.750	0.0340	7.842	0.0663	8.021	0.1293	8.249	0.2091
M-42	286.10	7.653	7.656	0.0009	7.704	0.0180	7.753	0.0351	7.849	0.0684	7.970	0.1107
M-43	285.00	7.653	7.659	0.0020	7.767	0.0400	7.875	0.0780	8.086	0.1521	8.354	0.2460
M-44	285.00	7.653	7.658	0.0017	7.739	0.0300	7.820	0.0585	7.978	0.1141	8.179	0.1845
M-45	285.20	7.653	7.657	0.0015	7.739	0.0300	7.820	0.0585	7.978	0.1141	8.179	0.1845

M-46	285.00	7.653	7.656	0.0010	7.710	0.0200	7.764	0.0390	7.870	0.0761	8.004	0.1230
M-47	285.00	7.653	7.659	0.0021	7.773	0.0420	7.886	0.0819	8.108	0.1597	8.389	0.2583
M-48	285.00	7.653	7.656	0.0012	7.721	0.0240	7.786	0.0468	7.913	0.0913	8.074	0.1476
M-49	285.30	7.653	7.658	0.0016	7.744	0.0320	7.831	0.0624	8.000	0.1217	8.215	0.1968
M-50	285.40	7.653	7.658	0.0019	7.761	0.0380	7.864	0.0741	8.065	0.1445	8.320	0.2337
M-51	285.10	7.653	7.657	0.0015	7.739	0.0300	7.820	0.0585	7.978	0.1141	8.179	0.1845
M-52	285.20	7.653	7.658	0.0017	7.750	0.0340	7.842	0.0663	8.022	0.1293	8.249	0.2091
M-53	285.00	7.653	7.657	0.0015	7.739	0.0300	7.820	0.0585	7.978	0.1141	8.179	0.1845
M-54	285.30	7.653	7.656	0.0010	7.710	0.0200	7.764	0.0390	7.870	0.0761	8.004	0.1230
M-55	285.10	7.653	7.656	0.0012	7.721	0.0240	7.786	0.0468	7.913	0.0913	8.074	0.1476
M-56	285.20	7.653	7.656	0.0010	7.724	0.0250	7.794	0.0494	7.870	0.0761	8.004	0.1230
M-57	285.40	7.653	7.656	0.0010	7.710	0.0200	7.764	0.0390	7.870	0.0761	8.004	0.1230
M-58	285.00	7.653	7.656	0.0011	7.716	0.0220	7.775	0.0429	7.891	0.0837	8.039	0.1353
M-59	285.00	7.653	7.657	0.0015	7.739	0.0300	7.820	0.0585	7.978	0.1141	8.179	0.1845
M-60	285.20	7.653	7.656	0.0012	7.723	0.0245	7.786	0.0468	7.913	0.0913	8.074	0.1476

<b>PROMEDIO</b>	<b>0.0014</b>		<b>0.0271</b>		<b>0.0529</b>		<b>0.1015</b>		<b>0.1625</b>
-----------------	---------------	--	---------------	--	---------------	--	---------------	--	---------------

**CANTERA RIO MASHCÓN CANTERA CHAVEZ**

**TABLA N° 04 RESUMEN VARIACIÓN DE LONGITUD DE BARRAS DE MORTERO CANTERA RIO MASHCÓN**

CANTERA RIO MASHCÓN												
PROBETAS N°	LONGITUD (mm)	Lect. Inic.	Lectura 1	1 día	Lectura 5	5 día	Lectura 8	8 día	Lectura 11	11 día	Lectura 14	14 día
				% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN
M-1	285.30	7.955	7.958	0.0010	8.086	0.0459	8.123	0.0588	8.329	0.1310	8.531	0.2017
M-2	285.40	7.970	7.973	0.0012	8.073	0.0362	8.104	0.0471	8.328	0.1253	8.521	0.1930
M-3	285.10	7.670	7.675	0.0016	7.790	0.0421	7.845	0.0615	8.133	0.1623	8.383	0.2500
M-4	285.20	7.605	7.610	0.0018	7.677	0.0253	7.742	0.0480	7.970	0.1281	8.168	0.1973
M-5	285.00	7.605	7.608	0.0012	7.701	0.0336	7.734	0.0454	7.946	0.1196	8.130	0.1842
M-6	285.30	7.710	7.714	0.0014	7.820	0.0387	7.839	0.0451	8.124	0.1452	8.348	0.2237
M-7	285.10	7.550	7.554	0.0014	7.674	0.0436	7.680	0.0454	7.891	0.1196	8.075	0.1842
M-8	285.20	7.450	7.455	0.0016	7.556	0.0370	7.579	0.0451	7.840	0.1367	8.050	0.2105
M-9	285.40	7.810	7.815	0.0018	7.911	0.0353	7.940	0.0456	8.176	0.1281	8.373	0.1973
M-10	285.00	7.620	7.623	0.0011	7.746	0.0443	7.771	0.0530	7.971	0.1230	8.160	0.1894
M-11	285.00	7.620	7.624	0.0013	7.706	0.0303	7.737	0.0412	7.912	0.1025	8.070	0.1579
M-12	285.20	7.450	7.454	0.0014	7.544	0.0330	7.576	0.0441	7.781	0.1162	7.960	0.1789
M-13	284.80	7.490	7.494	0.0015	7.601	0.0389	7.636	0.0512	7.763	0.0957	7.910	0.1473
M-14	286.00	7.750	7.754	0.0015	7.863	0.0396	7.900	0.0523	8.033	0.0991	8.186	0.1526
M-15	285.00	7.650	7.655	0.0017	7.765	0.0404	7.836	0.0651	8.088	0.1538	8.325	0.2368
M-16	285.00	7.651	7.654	0.0009	7.774	0.0433	7.797	0.0512	7.987	0.1179	8.168	0.1816
M-17	285.20	7.500	7.506	0.0021	7.588	0.0309	7.638	0.0485	7.802	0.1059	7.965	0.1631
M-18	285.10	7.551	7.556	0.0017	7.680	0.0453	7.727	0.0617	7.916	0.1281	8.114	0.1973
M-19	285.10	7.610	7.616	0.0021	7.738	0.0450	7.834	0.0785	8.048	0.1538	8.285	0.2368
M-20	285.30	7.635	7.640	0.0016	7.741	0.0370	7.796	0.0565	8.025	0.1367	8.236	0.2105

M-21	285.40	7.710	7.713	0.0010	7.815	0.0369	7.833	0.0432	7.954	0.0854	8.085	0.1316
M-22	285.00	7.660	7.664	0.0015	7.768	0.0378	7.822	0.0568	8.011	0.1230	8.200	0.1894
M-23	284.00	7.540	7.546	0.0021	7.669	0.0454	7.748	0.0734	8.050	0.1794	8.325	0.2763
M-24	285.20	7.650	7.655	0.0016	7.752	0.0359	7.768	0.0415	8.024	0.1310	8.225	0.2017
M-25	285.40	7.705	7.709	0.0015	7.833	0.0450	7.862	0.0551	8.039	0.1172	8.156	0.1579
M-26	285.00	7.650	7.655	0.0016	7.770	0.0420	7.844	0.0681	8.015	0.1281	8.212	0.1973
M-27	285.20	7.680	7.684	0.0016	7.810	0.0456	7.866	0.0653	8.027	0.1215	8.214	0.1871
M-28	285.30	7.675	7.679	0.0015	7.795	0.0420	7.881	0.0722	8.079	0.1418	8.298	0.2183
M-29	285.00	7.652	7.655	0.0012	7.756	0.0364	7.798	0.0512	7.957	0.1071	8.096	0.1559
M-30	285.30	7.653	7.662	0.0032	7.818	0.0578	7.894	0.0845	8.086	0.1519	8.320	0.2339
M-31	285.40	7.653	7.659	0.0021	7.792	0.0487	7.834	0.0635	8.000	0.1215	8.187	0.1871
M-32	285.10	7.653	7.660	0.0023	7.786	0.0465	7.845	0.0675	8.115	0.1620	8.364	0.2495
M-33	285.00	7.653	7.660	0.0024	7.792	0.0487	7.877	0.0787	8.115	0.1620	8.364	0.2495
M-34	285.30	7.653	7.662	0.0031	7.802	0.0523	7.877	0.0785	8.132	0.1680	8.391	0.2587
M-35	285.10	7.653	7.660	0.0023	7.776	0.0430	7.864	0.0740	8.087	0.1523	8.321	0.2345
M-36	285.20	7.653	7.659	0.0021	7.803	0.0525	7.861	0.0730	8.141	0.1710	8.404	0.2633
M-37	285.40	7.653	7.657	0.0015	7.781	0.0448	7.816	0.0571	8.000	0.1215	8.187	0.1871
M-38	285.00	7.653	7.659	0.0021	7.782	0.0454	7.844	0.0671	7.999	0.1215	8.186	0.1871
M-39	285.00	7.653	7.656	0.0012	7.753	0.0351	7.811	0.0553	7.942	0.1013	8.097	0.1559
M-40	285.20	7.653	7.657	0.0014	7.750	0.0341	7.773	0.0420	7.944	0.1020	8.101	0.1571
M-41	284.80	7.653	7.658	0.0018	7.773	0.0421	7.867	0.0751	8.143	0.1721	8.408	0.2651
M-42	286.10	7.653	7.658	0.0019	7.762	0.0380	7.824	0.0597	7.914	0.0911	8.054	0.1403
M-43	285.00	7.653	7.659	0.0022	7.770	0.0410	7.827	0.0612	8.230	0.2025	8.542	0.3119
M-44	285.00	7.653	7.658	0.0019	7.783	0.0455	7.851	0.0695	8.086	0.1519	8.320	0.2339
M-45	285.20	7.653	7.658	0.0016	7.814	0.0564	7.862	0.0734	8.086	0.1519	8.320	0.2339
M-46	285.00	7.653	7.658	0.0018	7.754	0.0356	7.804	0.0531	7.942	0.1013	8.097	0.1559

M-47	285.00	7.653	7.660	0.0024	7.809	0.0546	7.899	0.0863	8.259	0.2126	8.586	0.3274
M-48	285.00	7.653	7.657	0.0014	7.762	0.0384	7.811	0.0556	7.999	0.1215	8.186	0.1871
M-49	285.30	7.653	7.658	0.0018	7.782	0.0452	7.837	0.0646	8.115	0.1620	8.365	0.2495
M-50	285.40	7.653	7.659	0.0021	7.790	0.0480	7.869	0.0756	8.202	0.1924	8.499	0.2963
M-51	285.10	7.653	7.658	0.0017	7.783	0.0456	7.840	0.0657	8.086	0.1519	8.320	0.2339
M-52	285.20	7.653	7.658	0.0019	7.795	0.0498	7.840	0.0654	8.144	0.1721	8.409	0.2651
M-53	285.00	7.653	7.658	0.0017	7.786	0.0465	7.841	0.0659	8.086	0.1519	8.320	0.2339
M-54	285.30	7.653	7.658	0.0019	7.764	0.0390	7.783	0.0456	7.942	0.1013	8.098	0.1559
M-55	285.10	7.653	7.658	0.0018	7.763	0.0385	7.817	0.0575	7.999	0.1215	8.186	0.1871
M-56	285.20	7.653	7.658	0.0019	7.753	0.0350	7.770	0.0410	7.942	0.1013	8.098	0.1559
M-57	285.40	7.653	7.658	0.0017	7.763	0.0385	7.786	0.0465	7.942	0.1013	8.098	0.1559
M-58	285.00	7.653	7.658	0.0018	7.793	0.0491	7.798	0.0510	7.970	0.1114	8.142	0.1715
M-59	285.00	7.653	7.658	0.0019	7.802	0.0523	7.867	0.0752	8.086	0.1519	8.320	0.2339
M-60	285.20	7.653	7.659	0.0021	7.784	0.0461	7.823	0.0596	8.000	0.1215	8.187	0.1871
<b>PROMEDIO</b>				<b>0.0017</b>		<b>0.0421</b>		<b>0.0593</b>		<b>0.1341</b>		<b>0.2059</b>

## CANTERA DE CERRO EL GAVILÁN

### TABLA N° 05 RESUMEN VARIACIÓN DE LONGITUD DE BARRAS DE MORTERO CANTERA DE CERRO EL GAVILÁN

CANTERA ROCA FUERTE												
PROBETAS N°	LONGITUD (mm)	Lect. Inic.	Lectura 1	1 día	Lectura 5	5 día	Lectura 8	8 día	Lectura 11	11 día	Lectura 14	14 día
				% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		% EXPANSIÓN		
M-1	285.30	7.955	7.959	0.0013	8.120	0.0578	8.186	0.0811	8.302	0.1216	8.620	0.2329
M-2	285.40	7.970	7.973	0.0010	8.127	0.0550	8.190	0.0772	8.266	0.1038	8.547	0.2023
M-3	285.10	7.670	7.674	0.0013	7.891	0.0775	7.980	0.1088	8.133	0.1623	8.531	0.3021
M-4	285.20	7.605	7.608	0.0011	7.785	0.0633	7.858	0.0888	7.985	0.1333	8.379	0.2714
M-5	285.00	7.605	7.608	0.0010	7.773	0.0591	7.841	0.0829	7.958	0.1239	8.309	0.2468
M-6	285.30	7.710	7.716	0.0022	7.883	0.0608	7.953	0.0853	8.075	0.1279	8.418	0.2482
M-7	285.10	7.550	7.553	0.0012	7.738	0.0660	7.814	0.0927	7.937	0.1356	8.239	0.2417
M-8	285.20	7.450	7.455	0.0018	7.603	0.0538	7.665	0.0755	7.773	0.1132	8.088	0.2236
M-9	285.40	7.810	7.814	0.0014	7.919	0.0383	7.963	0.0537	8.039	0.0804	8.307	0.1740
M-10	285.00	7.620	7.627	0.0023	7.793	0.0608	7.863	0.0853	7.985	0.1279	8.335	0.2510
M-11	285.00	7.620	7.620	0.0000	7.836	0.0756	7.923	0.1062	8.027	0.1428	8.407	0.2761
M-12	285.20	7.450	7.454	0.0013	7.542	0.0324	7.580	0.0455	7.644	0.0682	7.958	0.1782
M-13	284.80	7.490	7.493	0.0011	7.630	0.0493	7.687	0.0691	7.792	0.1062	8.075	0.2053
M-14	286.00	7.750	7.753	0.0010	7.961	0.0739	8.047	0.1038	8.146	0.1386	8.459	0.2478
M-15	285.00	7.650	7.655	0.0018	7.872	0.0780	7.962	0.1095	8.095	0.1563	8.511	0.3022
M-16	285.00	7.651	7.654	0.0009	7.804	0.0538	7.866	0.0755	7.974	0.1132	8.275	0.2188
M-17	285.20	7.500	7.506	0.0021	7.732	0.0813	7.825	0.1141	7.988	0.1711	8.351	0.2984
M-18	285.10	7.551	7.556	0.0018	7.803	0.0883	7.904	0.1239	7.989	0.1536	8.375	0.2891
M-19	285.10	7.610	7.615	0.0017	7.762	0.0533	7.823	0.0748	7.896	0.1002	8.165	0.1948
M-20	285.30	7.635	7.639	0.0015	7.810	0.0613	7.880	0.0860	8.002	0.1287	8.335	0.2455

M-21	285.40	7.710	7.713	0.0010	7.850	0.0490	7.928	0.0764	8.002	0.1023	8.274	0.1978
M-22	285.00	7.660	7.663	0.0010	7.833	0.0608	7.903	0.0853	8.025	0.1281	8.366	0.2477
M-23	284.00	7.540	7.545	0.0019	7.721	0.0636	7.794	0.0893	7.916	0.1323	8.282	0.2612
M-24	285.20	7.650	7.653	0.0011	7.763	0.0397	7.809	0.0557	7.883	0.0816	8.226	0.2018
M-25	285.40	7.705	7.709	0.0013	7.816	0.0390	7.861	0.0548	7.939	0.0821	8.158	0.1588
M-26	285.00	7.650	7.655	0.0017	7.800	0.0525	7.860	0.0737	7.965	0.1106	8.297	0.2269
M-27	285.20	7.680	7.684	0.0013	7.821	0.0495	7.878	0.0695	7.977	0.1042	8.255	0.2015
M-28	285.30	7.675	7.679	0.0014	7.828	0.0538	7.890	0.0755	7.995	0.1122	8.335	0.2314
M-29	285.00	7.652	7.656	0.0013	7.803	0.0530	7.864	0.0744	7.969	0.1113	8.265	0.2152
M-30	285.30	7.653	7.657	0.0015	7.836	0.0640	7.909	0.0899	8.036	0.1344	8.357	0.2468
M-31	285.40	7.653	7.657	0.0013	7.809	0.0548	7.872	0.0769	7.982	0.1153	8.289	0.2229
M-32	285.10	7.653	7.657	0.0015	7.842	0.0663	7.918	0.0930	8.017	0.1275	8.400	0.2622
M-33	285.00	7.653	7.658	0.0016	7.805	0.0535	7.867	0.0751	7.974	0.1127	8.236	0.2046
M-34	285.30	7.653	7.658	0.0016	7.855	0.0708	7.936	0.0993	8.042	0.1362	8.404	0.2633
M-35	285.10	7.653	7.657	0.0015	7.839	0.0653	7.914	0.0916	8.030	0.1323	8.382	0.2558
M-36	285.20	7.653	7.659	0.0020	7.859	0.0723	7.942	0.1014	8.070	0.1462	8.382	0.2557
M-37	285.40	7.653	7.657	0.0013	7.805	0.0533	7.866	0.0748	7.973	0.1121	8.312	0.2311
M-38	285.00	7.653	7.657	0.0014	7.803	0.0528	7.864	0.0741	7.958	0.1069	8.242	0.2067
M-39	285.00	7.653	7.656	0.0011	7.795	0.0498	7.852	0.0698	7.984	0.1161	8.253	0.2107
M-40	285.20	7.653	7.657	0.0014	7.804	0.0530	7.865	0.0744	7.971	0.1116	8.268	0.2158
M-41	284.80	7.653	7.658	0.0017	7.844	0.0670	7.921	0.0940	8.053	0.1404	8.356	0.2468
M-42	286.10	7.653	7.656	0.0009	7.772	0.0415	7.819	0.0582	7.903	0.0873	8.136	0.1688
M-43	285.00	7.653	7.659	0.0021	7.865	0.0745	7.927	0.0963	8.015	0.1269	8.444	0.2775
M-44	285.00	7.653	7.656	0.0011	7.835	0.0640	7.909	0.0899	8.037	0.1348	8.396	0.2606
M-45	285.20	7.653	7.658	0.0016	7.824	0.0600	7.904	0.0879	8.037	0.1348	8.396	0.2606
M-46	285.00	7.653	7.656	0.0010	7.803	0.0528	7.864	0.0741	7.970	0.1111	8.265	0.2148

M-47	285.00	7.653	7.658	0.0019	7.835	0.0640	7.909	0.0899	8.037	0.1348	8.409	0.2654
M-48	285.00	7.653	7.657	0.0014	7.804	0.0530	7.865	0.0744	7.971	0.1116	8.297	0.2260
M-49	285.30	7.653	7.658	0.0018	7.820	0.0585	7.887	0.0821	7.994	0.1194	8.314	0.2315
M-50	285.40	7.653	7.658	0.0018	7.866	0.0745	7.912	0.0907	8.042	0.1362	8.405	0.2633
M-51	285.10	7.653	7.658	0.0016	7.840	0.0658	7.916	0.0923	8.005	0.1236	8.334	0.2390
M-52	285.20	7.653	7.657	0.0015	7.858	0.0718	7.915	0.0920	8.005	0.1233	8.349	0.2441
M-53	285.00	7.653	7.658	0.0018	7.855	0.0708	7.914	0.0915	7.996	0.1205	8.357	0.2468
M-54	285.30	7.653	7.656	0.0011	7.803	0.0528	7.864	0.0741	7.970	0.1111	8.284	0.2211
M-55	285.10	7.653	7.658	0.0018	7.825	0.0605	7.895	0.0849	8.016	0.1274	8.400	0.2622
M-56	285.20	7.653	7.656	0.0012	7.806	0.0538	7.868	0.0755	7.976	0.1132	8.297	0.2260
M-57	285.40	7.653	7.657	0.0015	7.794	0.0495	7.851	0.0695	7.920	0.0936	8.199	0.1912
M-58	285.00	7.653	7.657	0.0014	7.804	0.0530	7.865	0.0744	7.917	0.0927	8.181	0.1851
M-59	285.00	7.653	7.658	0.0016	7.842	0.0663	7.889	0.0827	8.024	0.1302	8.370	0.2517
M-60	285.20	7.653	7.657	0.0014	7.806	0.0536	7.868	0.0753	7.929	0.0969	8.229	0.2021

<b>PROMEDIO</b>				0.0014		0.0594		0.0827		0.1199		0.2342
-----------------	--	--	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------	--	--------

## 5.2. GRÁFICOS DE VARIACIÓN DE LONGITUD

Los siguientes gráficos muestra el porcentaje de la variación de longitud tomada para las 3 canteras en los diferentes periodos hasta los 14 días.

### CANTERA RIO CHONTA ROCA FUERTE

Los gráficos mostrados de un total de 60 muestras muestran los cambios de longitud tomados en 14 días; se ha encontrado una variación máximas que superan los 0.20 % y mínimas que están mayores a 0.10%.

En las siguientes tablas y gráficos se mostrará de cada una de las 60 muestras la variación de longitud con el método acelerado de barras de mortero.

N° Días	MUESTRA CANTERA ROCA FUERTE									
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10
	cambio de longitud %									
1	0.0010	0.0000	0.0015	0.0015	0.0010	0.0021	0.0012	0.0016	0.0015	0.0000
5	0.0259	0.0262	0.0321	0.0253	0.0236	0.0287	0.0236	0.0270	0.0253	0.0243
8	0.0505	0.0483	0.0625	0.0494	0.0461	0.0559	0.0461	0.0527	0.0494	0.0474
11	0.0984	0.0941	0.1219	0.0963	0.0898	0.1091	0.0898	0.1027	0.0963	0.0924
14	0.1592	0.1522	0.1972	0.1557	0.1453	0.1765	0.1453	0.1661	0.1557	0.1495

TABLA N° 06 variaciones de longitud de barras de mortero M-1 a M-10 a los 14 días

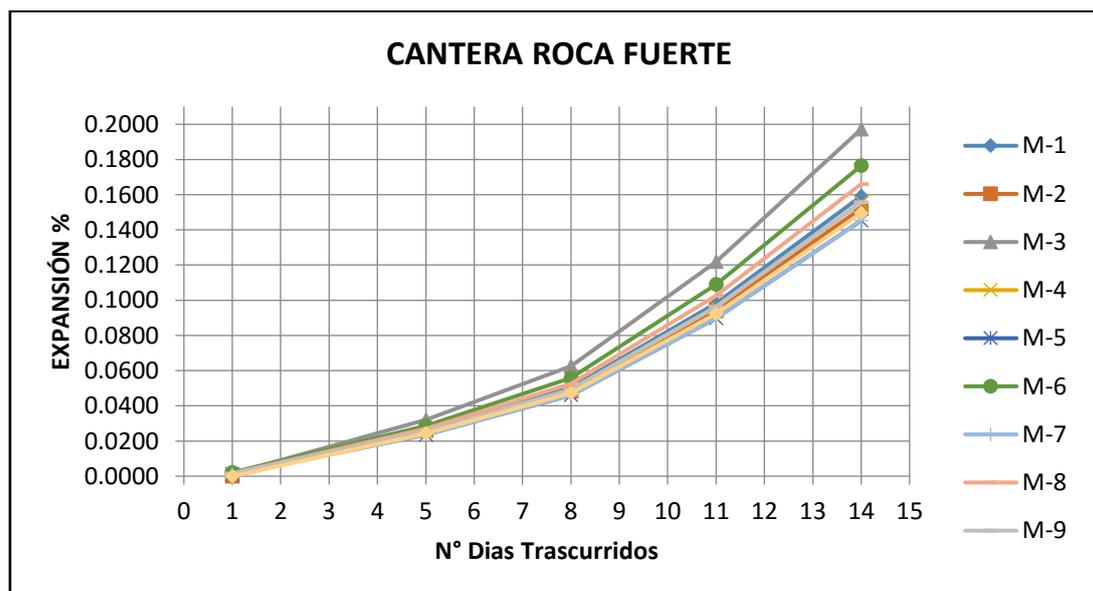


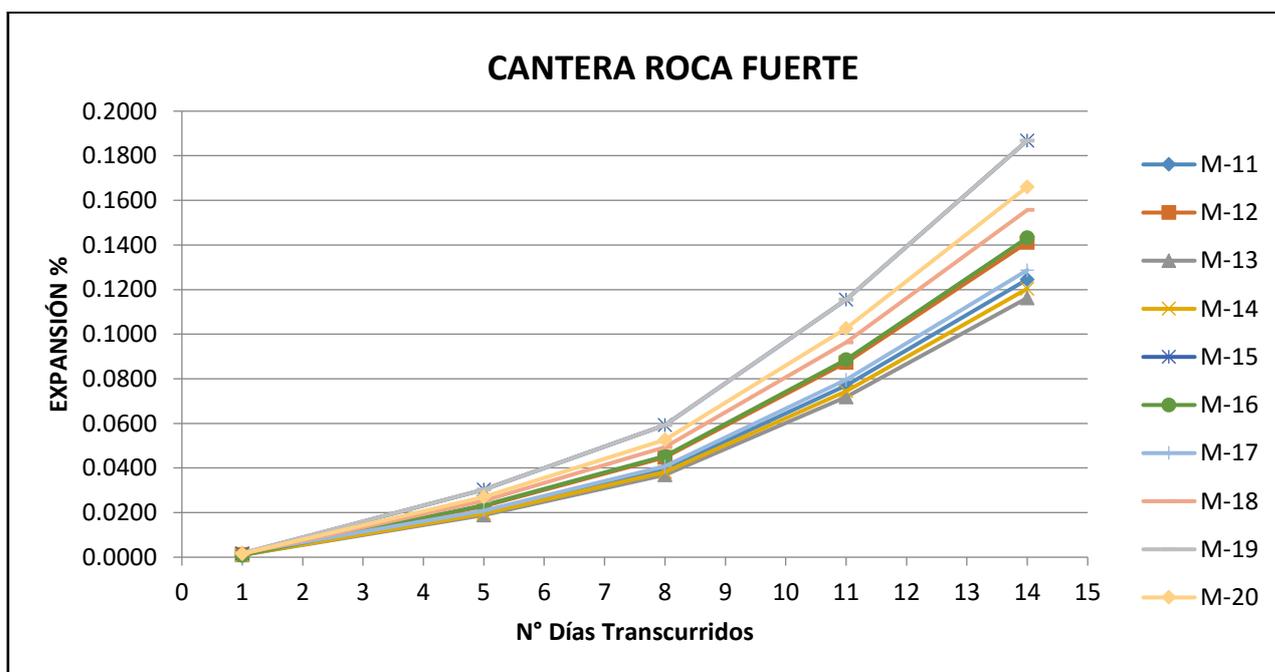
GRÁFICO N° 01 variaciones de longitud de barras de mortero M-1 a M-10 a los 14 días

TABLA N° 07 variaciones de longitud de barras de mortero M-11 a M-20 a los 14 días

N° Días	MUESTRA CANTERA ROCA FUERTE									
	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0012	0.0012	0.0010	0.0010	0.0017	0.0009	0.0020	0.0015	0.0018	0.0016
5	0.0203	0.0230	0.0189	0.0196	0.0304	0.0233	0.0209	0.0253	0.0304	0.0270
8	0.0395	0.0448	0.0369	0.0382	0.0592	0.0454	0.0408	0.0494	0.0592	0.0527
11	0.0770	0.0873	0.0719	0.0744	0.1155	0.0886	0.0796	0.0963	0.1155	0.1027
14	0.1246	0.1412	0.1163	0.1204	0.1868	0.1432	0.1287	0.1557	0.1868	0.1661

Fuente: Elaboración del tesista.

GRÁFICO N° 02 variaciones de longitud de barras de mortero M-11 a M-20 a los 14 días



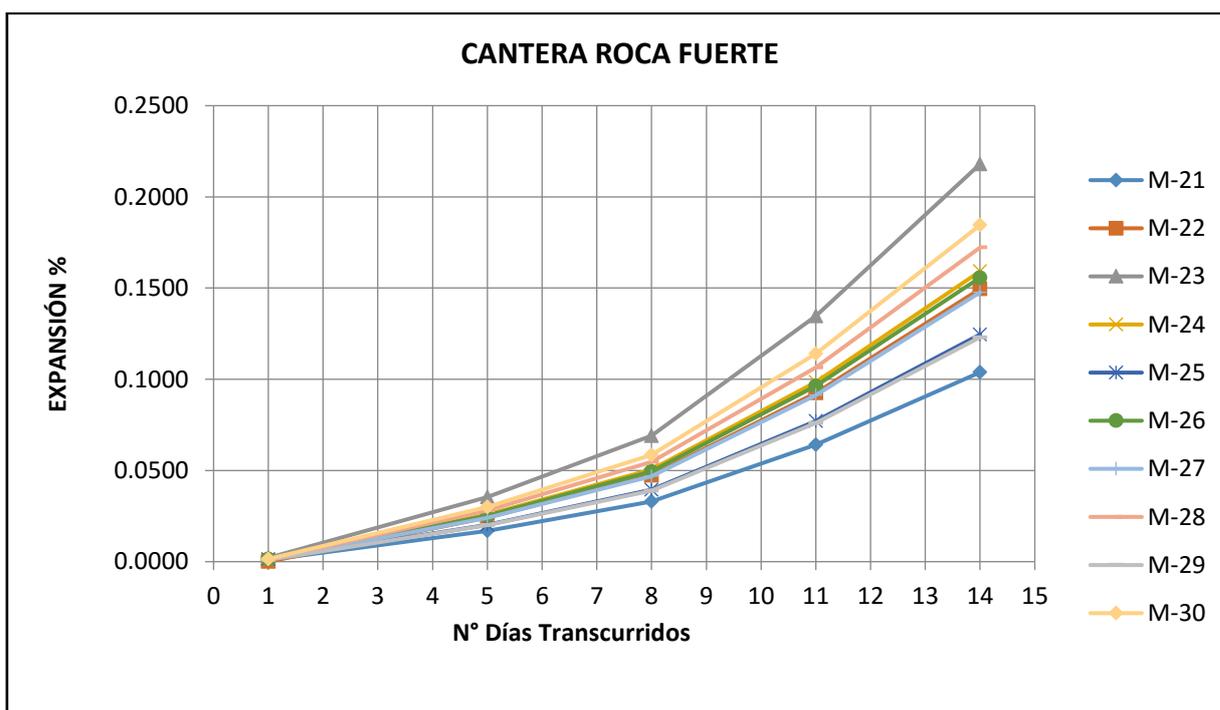
Fuente: Elaboración del tesista.

TABLA N° 08 variaciones de longitud de barras de mortero M-21 a M-30 a los 14 días

N° Días	MUESTRA CANTERA ROCA FUERTE									
	M-21	M-22	M-23	M-24	M-25	M-26	M-27	M-28	M-29	M-30
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0010	0.0000	0.0021	0.0010	0.0012	0.0015	0.0012	0.0014	0.0010	0.0015
5	0.0169	0.0243	0.0354	0.0259	0.0203	0.0253	0.0240	0.0280	0.0200	0.0300
8	0.0329	0.0474	0.0691	0.0505	0.0395	0.0494	0.0468	0.0546	0.0390	0.0585
11	0.0642	0.0924	0.1348	0.0984	0.0770	0.0963	0.0913	0.1065	0.0761	0.1141
14	0.1038	0.1495	0.2180	0.1592	0.1246	0.1557	0.1476	0.1722	0.1230	0.1845

Fuente: Elaboración del tesista.

GRÁFICO N° 03 variaciones de longitud de barras de mortero M-21 a M-30 a los 14 días



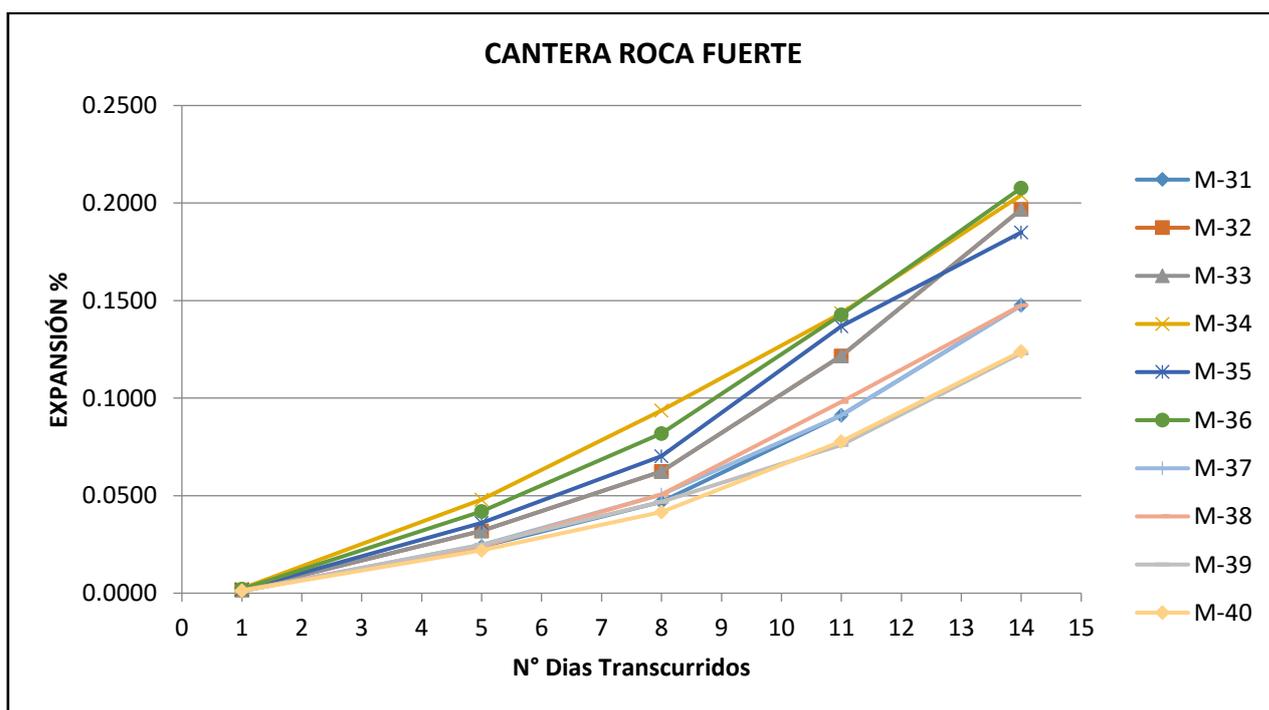
Fuente: Elaboración del tesista.

TABLA N° 09 variaciones de longitud de barras de mortero M-31 a M-40 a los 14 días

N° Días	MUESTRA CANTERA ROCA FUERTE									
	M-31	M-32	M-33	M-34	M-35	M-36	M-37	M-38	M-39	M-40
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0012	0.0016	0.0016	0.0024	0.0018	0.0021	0.0012	0.0015	0.0010	0.0013
5	0.0240	0.0320	0.0320	0.0480	0.0360	0.0420	0.0248	0.0240	0.0250	0.0220
8	0.0468	0.0624	0.0624	0.0936	0.0702	0.0819	0.0507	0.0507	0.0468	0.0416
11	0.0913	0.1217	0.1217	0.1437	0.1369	0.1428	0.0913	0.0980	0.0761	0.0777
14	0.1476	0.1968	0.1968	0.2041	0.1850	0.2078	0.1476	0.1476	0.1230	0.1239

Fuente: Elaboración del tesista.

GRÁFICO N° 04 variaciones de longitud de barras de mortero M-31 a M-40 a los 14 días

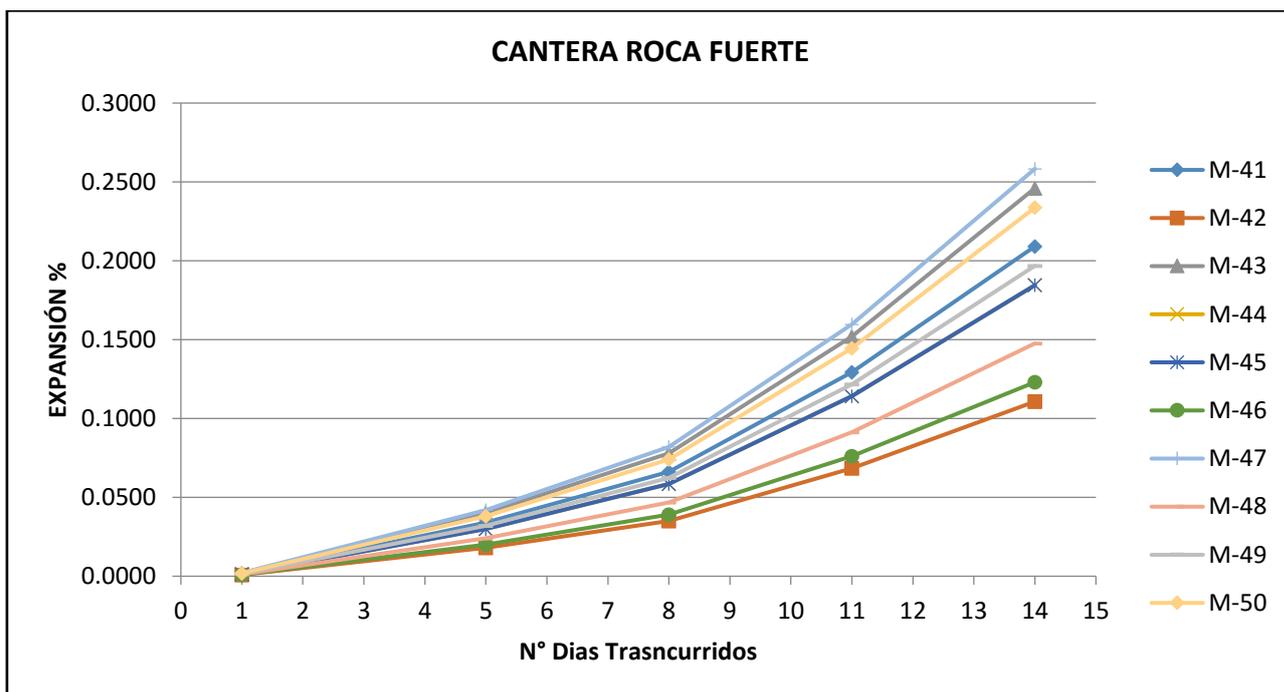


Fuente: Elaboración del tesista.

TABLA N° 10 variaciones de longitud de barras de mortero M-41 a M-50 a los 14 días

N° Días	MUESTRA CANTERA ROCA FUERTE									
	M-41	M-42	M-43	M-44	M-45	M-46	M-47	M-48	M-49	M-50
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0017	0.0009	0.0020	0.0017	0.0015	0.0010	0.0021	0.0012	0.0016	0.0019
5	0.0340	0.0180	0.0400	0.0300	0.0300	0.0200	0.0420	0.0240	0.0320	0.0380
8	0.0663	0.0351	0.0780	0.0585	0.0585	0.0390	0.0819	0.0468	0.0624	0.0741
11	0.1293	0.0684	0.1521	0.1141	0.1141	0.0761	0.1597	0.0913	0.1217	0.1445
14	0.2091	0.1107	0.2460	0.1845	0.1845	0.1230	0.2583	0.1476	0.1968	0.2337

GRÁFICA N° 05 variaciones de longitud de barras de mortero M-41 a M-50 a los 14 días



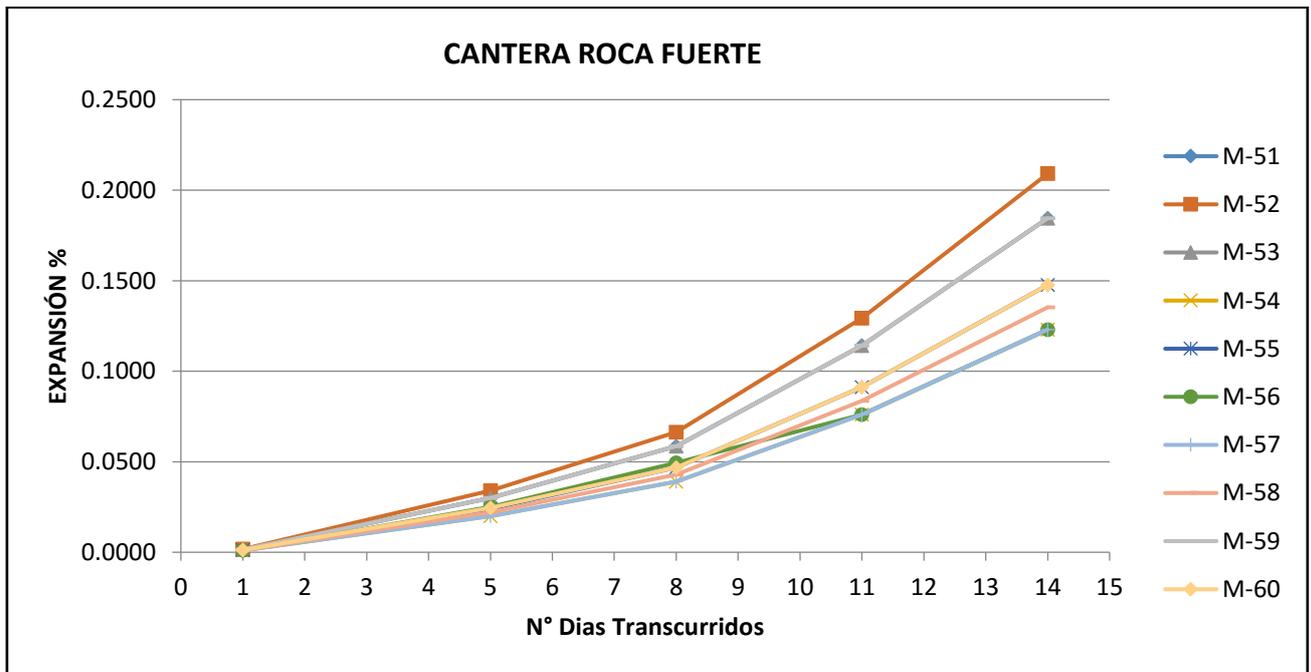
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 11 variaciones de longitud de barras de mortero M-51 a M-60 a los 14 días

N° Días	MUESTRA CANTERA ROCA FUERTE									
	M-51	M-52	M-53	M-54	M-55	M-56	M-57	M-58	M-59	M-60
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0015	0.0017	0.0015	0.0010	0.0012	0.0010	0.0010	0.0011	0.0015	0.0012
5	0.0300	0.0340	0.0300	0.0200	0.0240	0.0250	0.0200	0.0220	0.0300	0.0245
8	0.0585	0.0663	0.0585	0.0390	0.0468	0.0494	0.0390	0.0429	0.0585	0.0468
11	0.1141	0.1293	0.1141	0.0761	0.0913	0.0761	0.0761	0.0837	0.1141	0.0913
14	0.1845	0.2091	0.1845	0.1230	0.1476	0.1230	0.1230	0.1353	0.1845	0.1476

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 06 variaciones de longitud de barras de mortero M-51 a M-60 a los 14 días



Fuente: Elaboración del tesista

## CANTERA CHAVEZ RIO MASHCÓN

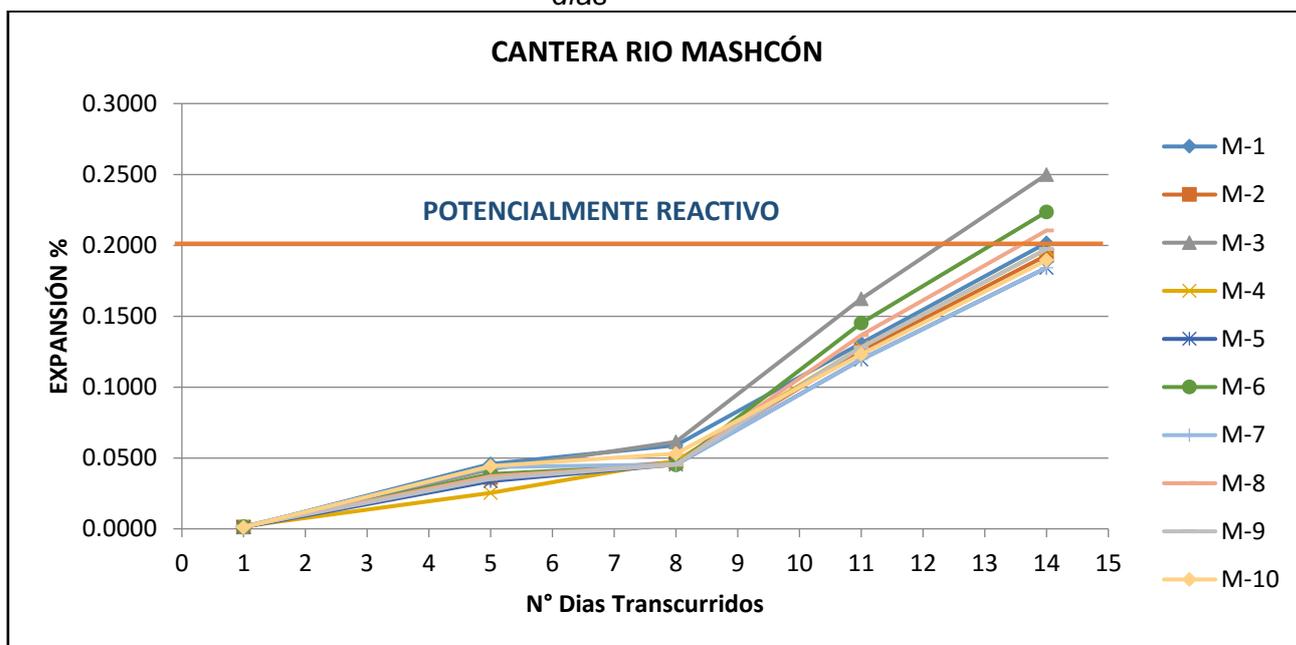
Los gráficos mostrados de un total de 60 muestras muestran los cambios de longitud tomados en 14 días; se ha encontrado una variación máximas que superan los 0.20 % y mínimas que están mayores a 0.15%.

En las siguientes tablas y gráficos se mostrará de cada una de las 60 muestras la variación de longitud con el método acelerado de barras de mortero encontrándose potencialmente nocivo.

TABLA N° 12 variaciones de longitud de barras de mortero M-1 a M-10 a los 14 días

N° Días	MUESTRA CANTERA RIO MASHCON									
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0010	0.0012	0.0016	0.0018	0.0012	0.0014	0.0014	0.0016	0.0018	0.0011
5	0.0459	0.0362	0.0421	0.0253	0.0336	0.0387	0.0436	0.0370	0.0353	0.0443
8	0.0588	0.0471	0.0615	0.0480	0.0454	0.0451	0.0454	0.0451	0.0456	0.0530
11	0.1310	0.1253	0.1623	0.1281	0.1196	0.1452	0.1196	0.1367	0.1281	0.1230
14	0.2017	0.1930	0.2500	0.1973	0.1842	0.2237	0.1842	0.2105	0.1973	0.1894

GRÁFICA N° 07 variaciones de longitud de barras de mortero M-1 a M-10 a los 14 días



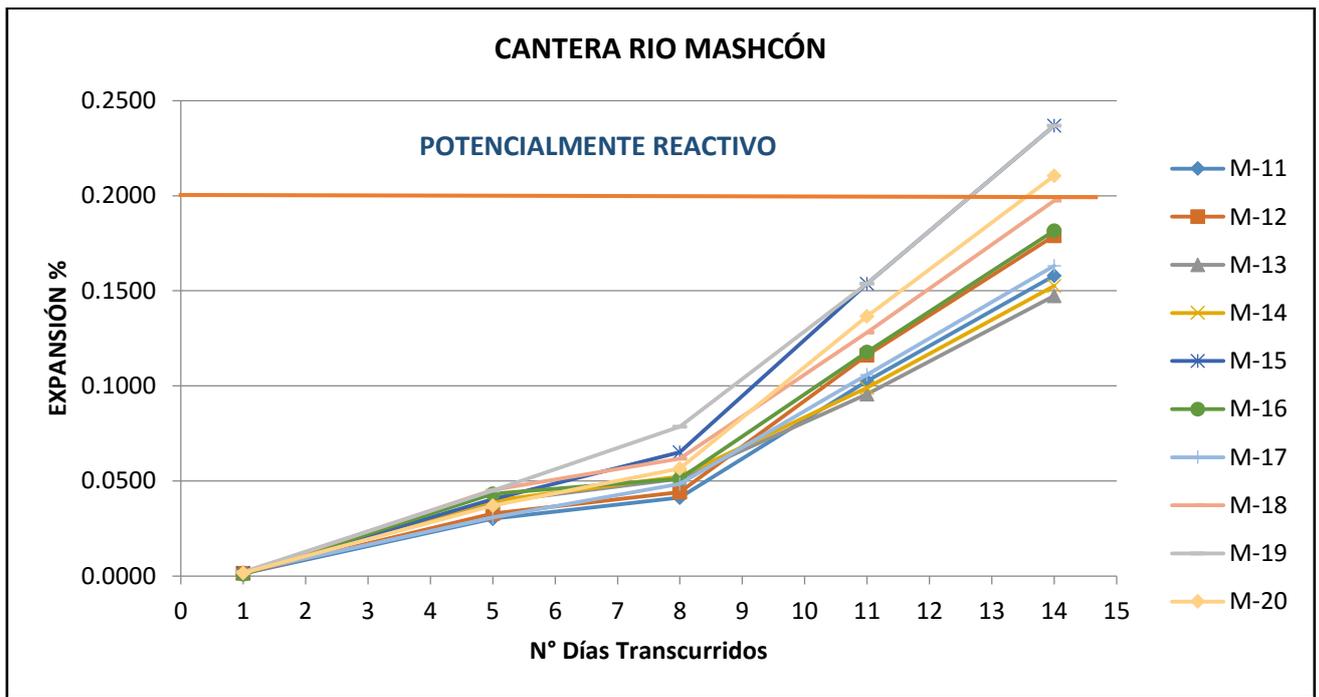
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 13 variaciones de longitud de barras de mortero rio Mashcón M-11 a M-20 días a los 14

N° Días	MUESTRA CANTERA RIO MASHCON									
	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0013	0.0014	0.0015	0.0015	0.0017	0.0009	0.0021	0.0017	0.0021	0.0016
5	0.0303	0.0330	0.0389	0.0396	0.0404	0.0433	0.0309	0.0453	0.0450	0.0370
8	0.0412	0.0441	0.0512	0.0523	0.0651	0.0512	0.0485	0.0617	0.0785	0.0565
11	0.1025	0.1162	0.0957	0.0991	0.1538	0.1179	0.1059	0.1281	0.1538	0.1367
14	0.1579	0.1789	0.1473	0.1526	0.2368	0.1816	0.1631	0.1973	0.2368	0.2105

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 08 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-11 a M-20 a los 14 días



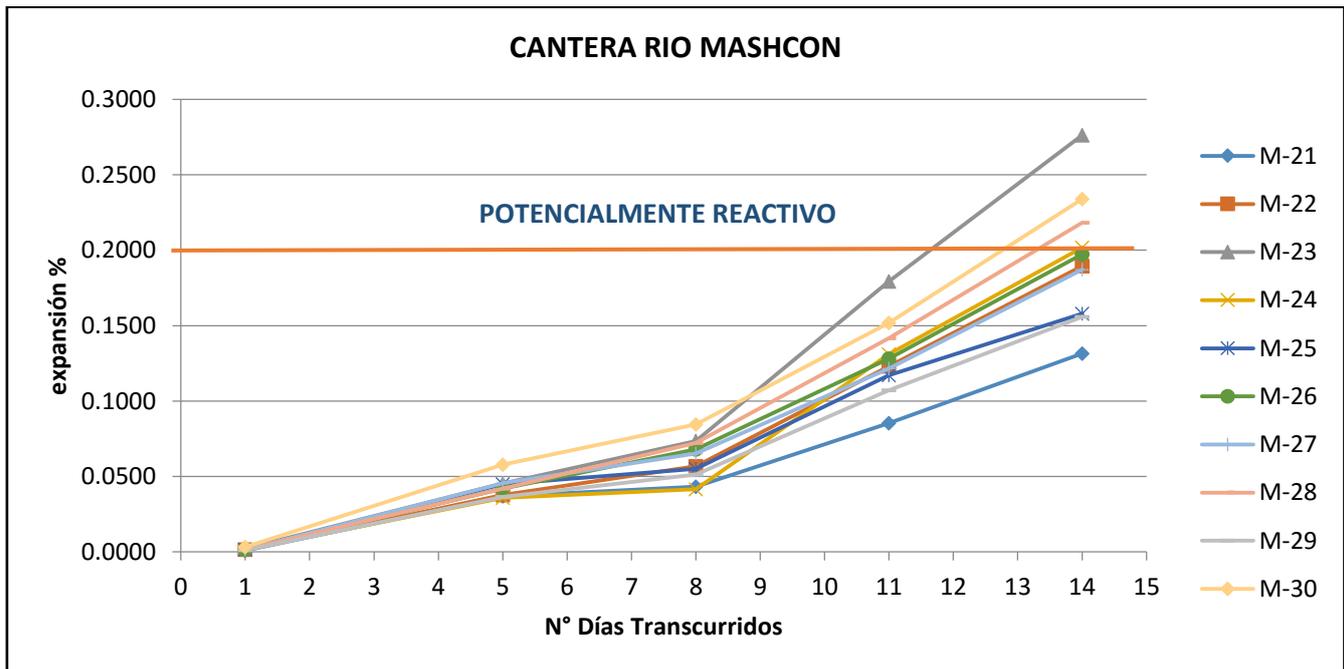
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 14 variaciones de longitud de barras de mortero rio Mashcón M-21 a M-30 a los 14 días

N° Días	MUESTRA CANTERA RIO MASHCON									
	M-21	M-22	M-23	M-24	M-25	M-26	M-27	M-28	M-29	M-30
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0010	0.0015	0.0021	0.0016	0.0015	0.0016	0.0016	0.0015	0.0012	0.0032
5	0.0369	0.0378	0.0454	0.0359	0.0450	0.0420	0.0456	0.0420	0.0364	0.0578
8	0.0432	0.0568	0.0734	0.0415	0.0551	0.0681	0.0653	0.0722	0.0512	0.0845
11	0.0854	0.1230	0.1794	0.1310	0.1172	0.1281	0.1215	0.1418	0.1071	0.1519
14	0.1316	0.1894	0.2763	0.2017	0.1579	0.1973	0.1871	0.2183	0.1559	0.2339

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 09 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-21 a M-30 a los 14 días



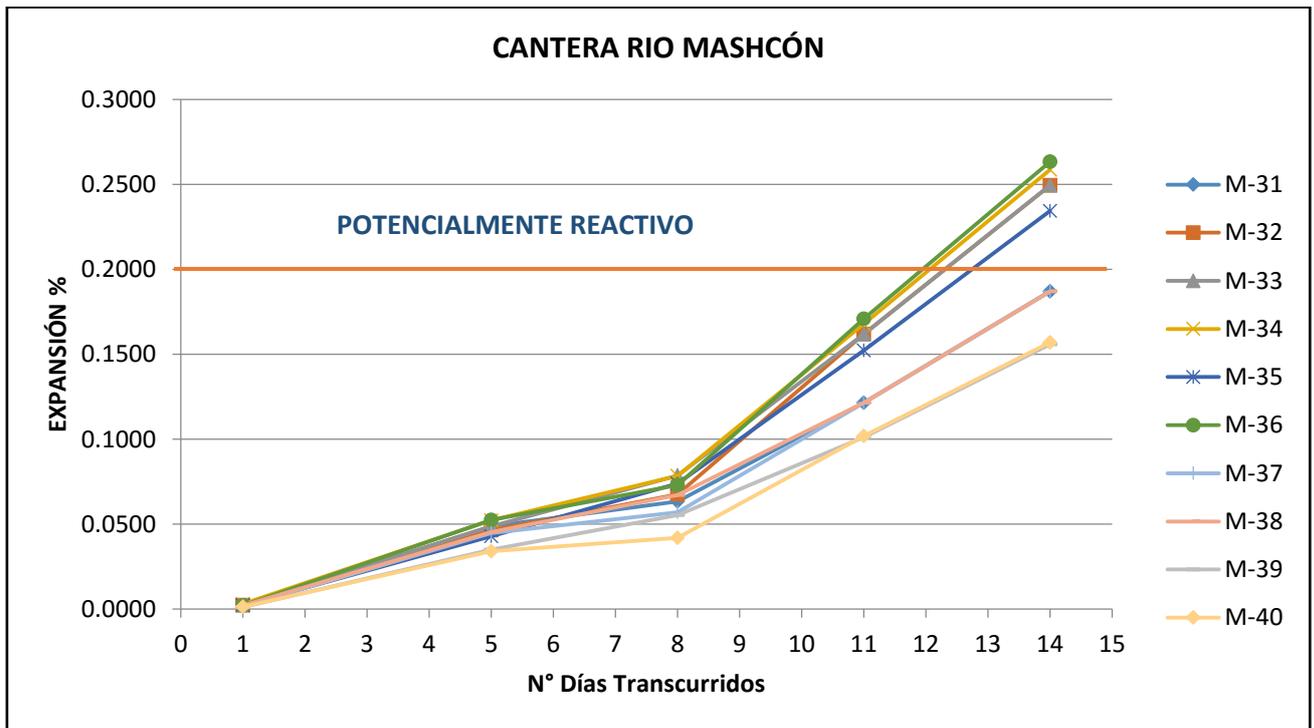
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 15 variaciones de longitud de barras de mortero rio Mashcón M-31 a M-40 a los 14 días

N° Días	MUESTRA CANTERA RIO MASHCON									
	M-31	M-32	M-33	M-34	M-35	M-36	M-37	M-38	M-39	M-40
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0021	0.0023	0.0024	0.0031	0.0023	0.0021	0.0015	0.0021	0.0012	0.0014
5	0.0487	0.0465	0.0487	0.0523	0.0430	0.0525	0.0448	0.0454	0.0351	0.0341
8	0.0635	0.0675	0.0787	0.0785	0.0740	0.0730	0.0571	0.0671	0.0553	0.0420
11	0.1215	0.1620	0.1620	0.1680	0.1523	0.1710	0.1215	0.1215	0.1013	0.1020
14	0.1871	0.2495	0.2495	0.2587	0.2345	0.2633	0.1871	0.1871	0.1559	0.1571

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 10 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-31 a M-40 a los 14 días



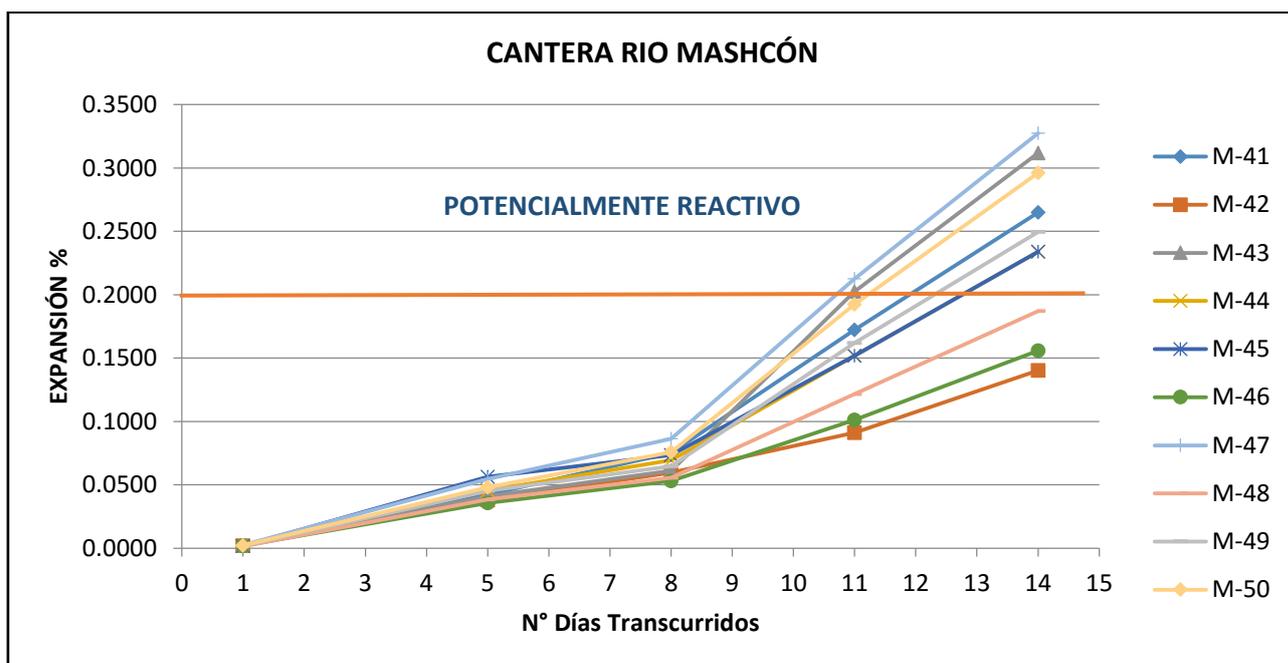
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 16 variaciones de longitud de barras de mortero rio Mashcón M-41 a M-50 a los 14 días.

N° Días	MUESTRA CANTERA RIO MASHCON									
	M-41	M-42	M-43	M-44	M-45	M-46	M-47	M-48	M-49	M-50
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0018	0.0019	0.0022	0.0019	0.0016	0.0018	0.0024	0.0014	0.0018	0.0021
5	0.0421	0.0380	0.0410	0.0455	0.0564	0.0356	0.0546	0.0384	0.0452	0.0480
8	0.0751	0.0597	0.0612	0.0695	0.0734	0.0531	0.0863	0.0556	0.0646	0.0756
11	0.1721	0.0911	0.2025	0.1519	0.1519	0.1013	0.2126	0.1215	0.1620	0.1924
14	0.2651	0.1403	0.3119	0.2339	0.2339	0.1559	0.3274	0.1871	0.2495	0.2963

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 11 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-41 a M-50 a los 14 días



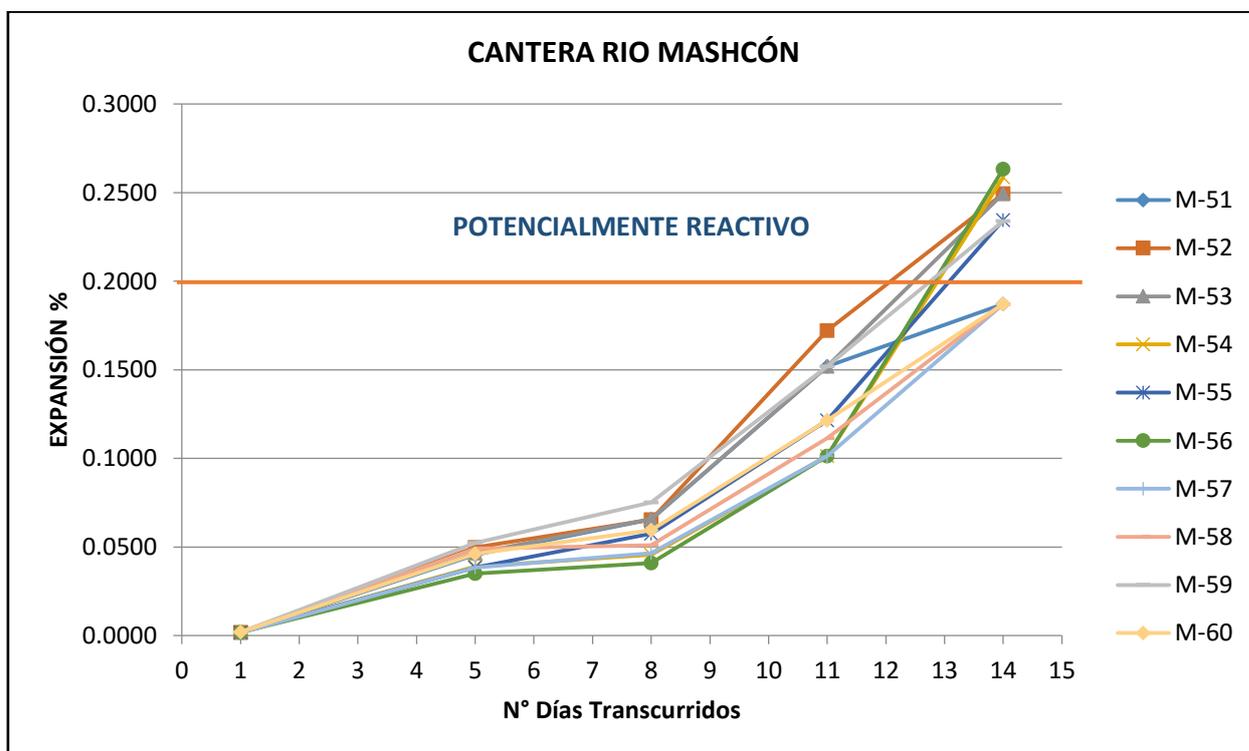
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 17 variaciones de longitud de barras de mortero rio Mashcón M-51 a M-60 a los 14 días.

N° Días	MUESTRA CANTERA RIO MASHCON									
	M-51	M-52	M-53	M-54	M-55	M-56	M-57	M-58	M-59	M-60
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0017	0.0019	0.0017	0.0019	0.0018	0.0019	0.0017	0.0018	0.0019	0.0021
5	0.0456	0.0498	0.0465	0.0390	0.0385	0.0350	0.0385	0.0491	0.0523	0.0461
8	0.0657	0.0654	0.0659	0.0456	0.0575	0.0410	0.0465	0.0510	0.0752	0.0596
11	0.1519	0.1721	0.1519	0.1013	0.1215	0.1013	0.1013	0.1114	0.1519	0.1215
14	0.1871	0.2495	0.2495	0.2587	0.2345	0.2633	0.1871	0.1871	0.2339	0.1871

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 12 variaciones de longitud de barras de mortero río Mashcón M-51 a M-60 a los 14 días.



Fuente: Elaboración del tesista

## CANTERA EL GAVILÁN (CERRO)

Los gráficos mostrados de un total de 60 muestras muestran los cambios de longitud tomados en 14 días; se ha encontrado una variación máximas que superan los 0.10 % y mínimas que están mayores a 0.04%.

En las siguientes tablas y gráficos se mostrará de cada una de las 60 muestras la variación de longitud con el método acelerado de barras de mortero encontrándose como material inocuo.

TABLA N° 18 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-1 a M-10 a los 14 días.

N° Días	MUESTRA CANTERA EL GAVILÁN									
	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10
	cambio de longitud %									
1	0.0013	0.0010	0.0013	0.0011	0.0010	0.0022	0.0012	0.0018	0.0014	0.0023
5	0.0578	0.0550	0.0775	0.0633	0.0591	0.0608	0.0660	0.0538	0.0383	0.0608
8	0.0811	0.0772	0.1088	0.0888	0.0829	0.0853	0.0927	0.0755	0.0537	0.0853
11	0.1216	0.1038	0.1623	0.1333	0.1239	0.1279	0.1356	0.1132	0.0804	0.1279
14	0.2329	0.2023	0.3021	0.2714	0.2468	0.2482	0.2417	0.2236	0.1740	0.2510

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 13 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-1 a M-10 a los 14 días.

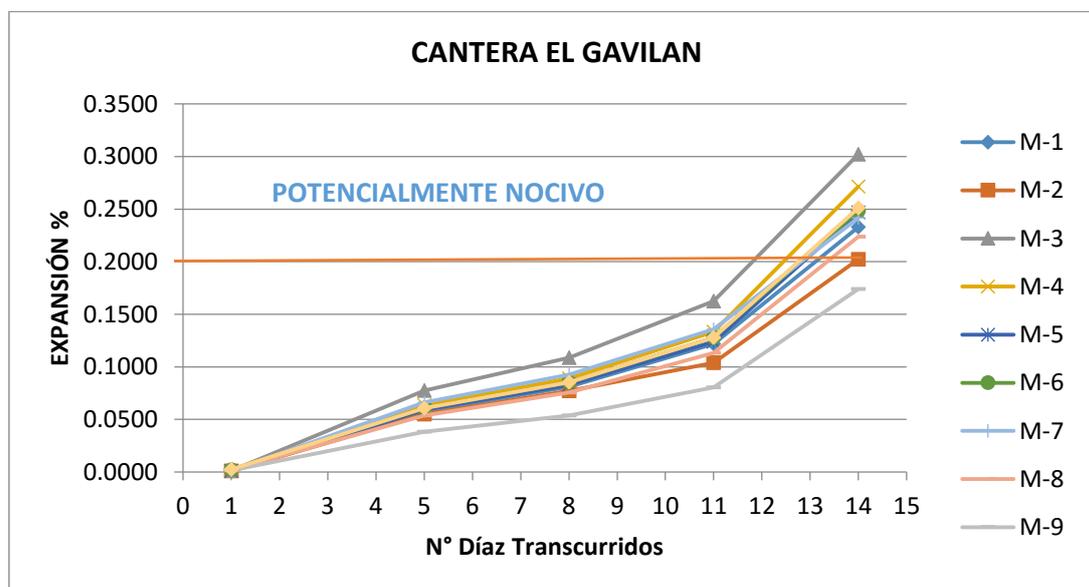
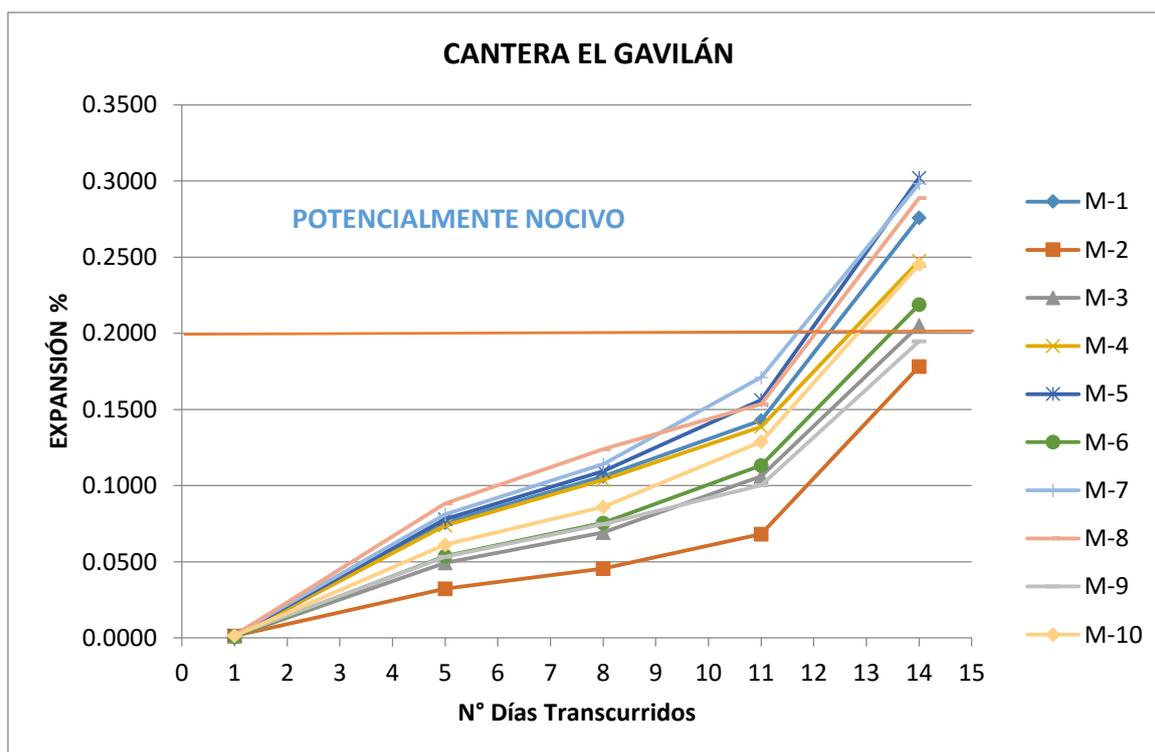


TABLA N° 19 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-10 a M-20 a los 14 días.

N° Días	MUESTRA CANTERA EL GAVILÁN									
	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0000	0.0013	0.0011	0.0010	0.0018	0.0009	0.0021	0.0018	0.0017	0.0015
5	0.0756	0.0324	0.0493	0.0739	0.0780	0.0538	0.0813	0.0883	0.0533	0.0613
8	0.1062	0.0455	0.0691	0.1038	0.1095	0.0755	0.1141	0.1239	0.0748	0.0860
11	0.1428	0.0682	0.1062	0.1386	0.1563	0.1132	0.1711	0.1536	0.1002	0.1287
14	0.2761	0.1782	0.2053	0.2478	0.3022	0.2188	0.2984	0.2891	0.1948	0.2455

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 14 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-11 a M-20 a los 14 días.



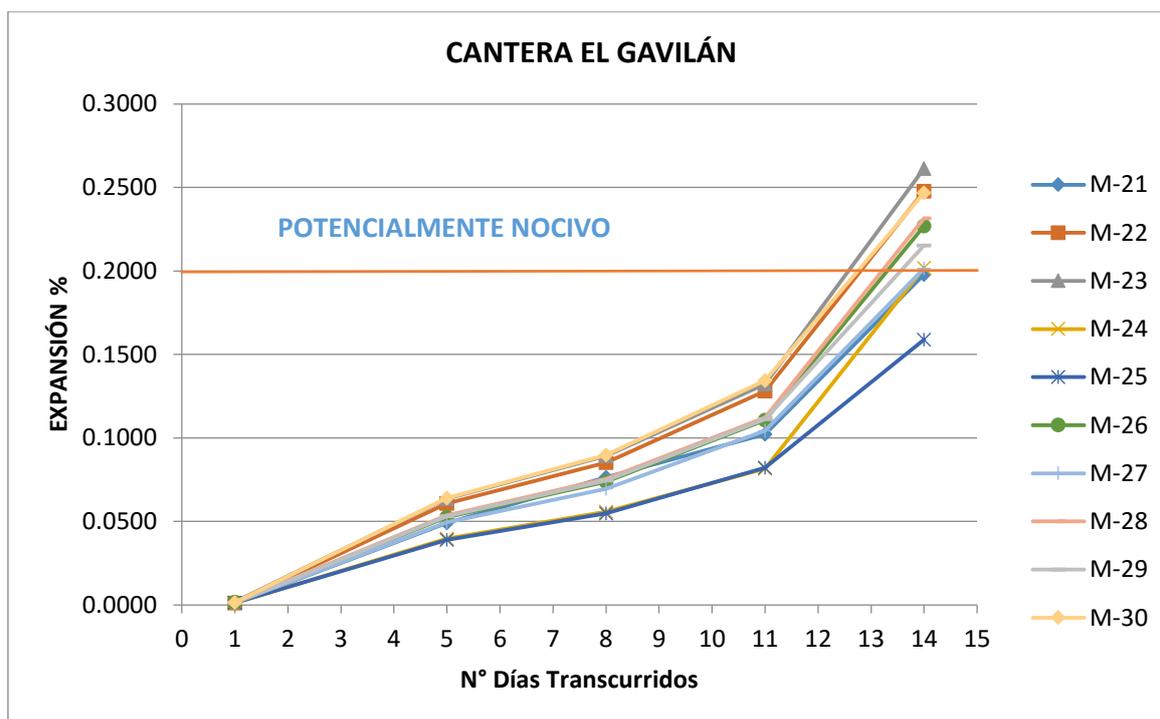
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 20 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-21 a M-30 a los 14 días.

N° Días	MUESTRA CANTERA EL GAVILÁN									
	M-21	M-22	M-23	M-24	M-25	M-26	M-27	M-28	M-29	M-30
	cambio de longitud %									
1	0.0010	0.0010	0.0019	0.0011	0.0013	0.0017	0.0013	0.0014	0.0013	0.0015
5	0.0490	0.0608	0.0636	0.0397	0.0390	0.0525	0.0495	0.0538	0.0530	0.0640
8	0.0764	0.0853	0.0893	0.0557	0.0548	0.0737	0.0695	0.0755	0.0744	0.0899
11	0.1023	0.1281	0.1323	0.0816	0.0821	0.1106	0.1042	0.1122	0.1113	0.1344
14	0.1978	0.2477	0.2612	0.2018	0.1588	0.2269	0.2015	0.2314	0.2152	0.2468

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICO N° 15 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-21 a M-30 a los 14 días.



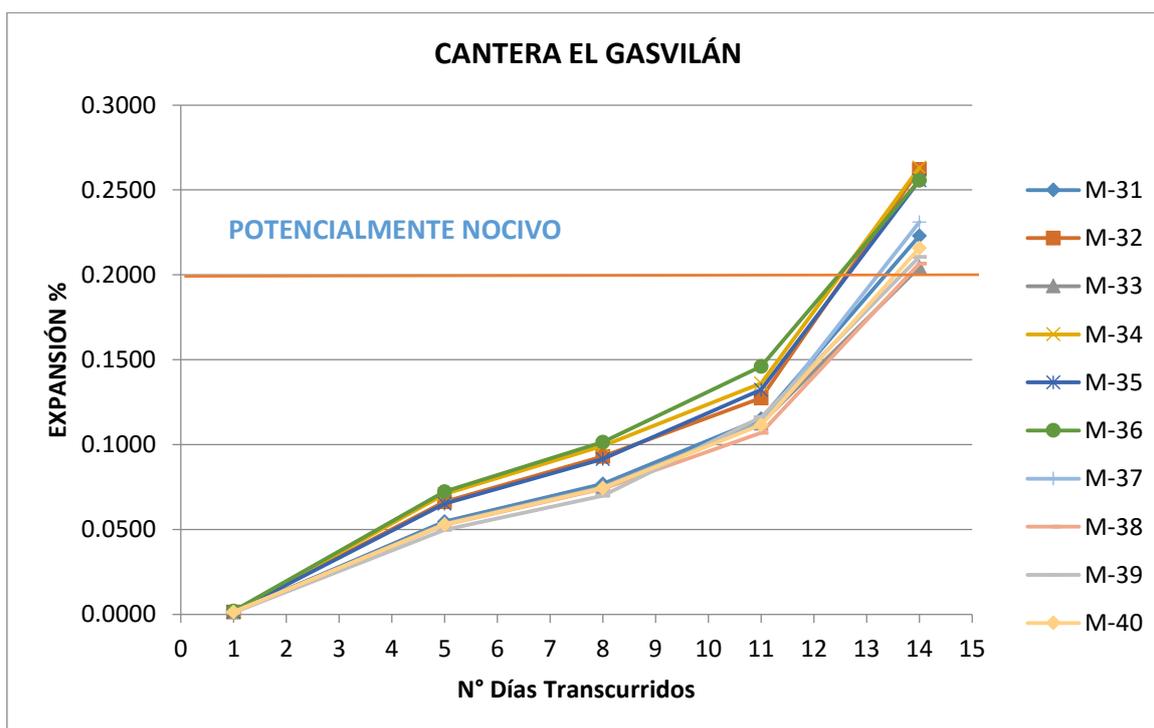
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 21 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-31 a M-40 a los 14 días.

N° Días	MUESTRA CANTERA EL GAVILÁN									
	M-31	M-32	M-33	M-34	M-35	M-36	M-37	M-38	M-39	M-40
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0013	0.0015	0.0016	0.0016	0.0015	0.0020	0.0013	0.0014	0.0011	0.0014
5	0.0548	0.0663	0.0535	0.0708	0.0653	0.0723	0.0533	0.0528	0.0498	0.0530
8	0.0769	0.0930	0.0751	0.0993	0.0916	0.1014	0.0748	0.0741	0.0698	0.0744
11	0.1153	0.1275	0.1127	0.1362	0.1323	0.1462	0.1121	0.1069	0.1161	0.1116
14	0.2229	0.2622	0.2046	0.2633	0.2558	0.2557	0.2311	0.2067	0.2107	0.2158

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 16 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-31 a M-40 a los 14 días.



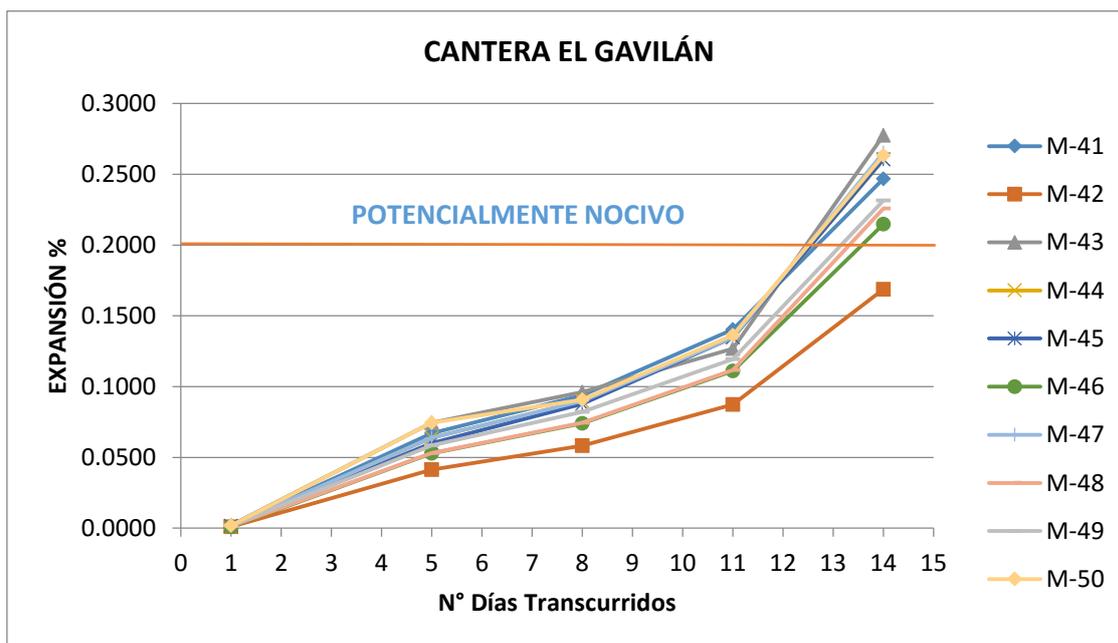
Fuente: Elaboración del tesista.

TABLA N° 22 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-41 a M-50 a los 14 días.

N° Días	MUESTRA CANTERA EL GAVILÁN									
	M-41	M-42	M-43	M-44	M-45	M-46	M-47	M-48	M-49	M-50
	cambio de longitud %									
1	0.0017	0.0009	0.0021	0.0011	0.0016	0.0010	0.0019	0.0014	0.0018	0.0018
5	0.0670	0.0415	0.0745	0.0640	0.0600	0.0528	0.0640	0.0530	0.0585	0.0745
8	0.0940	0.0582	0.0963	0.0899	0.0879	0.0741	0.0899	0.0744	0.0821	0.0907
11	0.1404	0.0873	0.1269	0.1348	0.1348	0.1111	0.1348	0.1116	0.1194	0.1362
14	0.2468	0.1688	0.2775	0.2606	0.2606	0.2148	0.2654	0.2260	0.2315	0.2633

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 17 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-41 a M-50 a los 14 días.



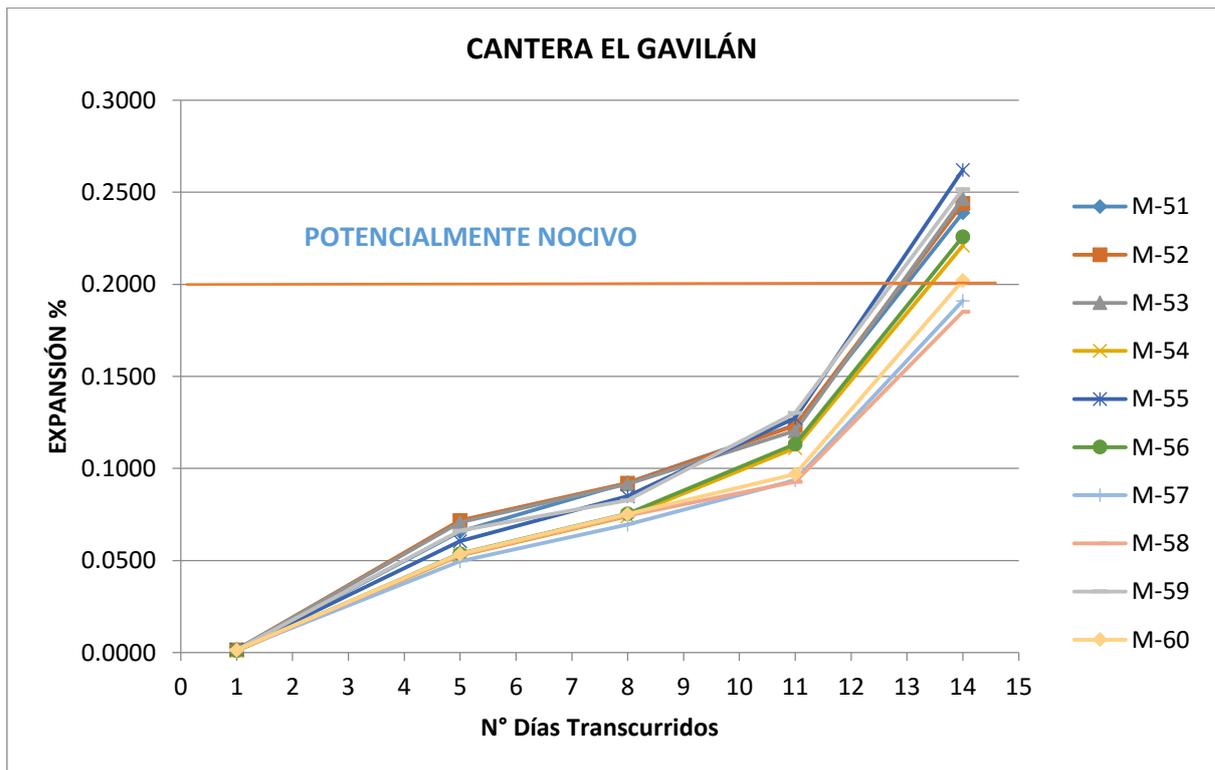
Fuente: Elaboración del tesista

TABLA N° 23 resultados de variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-51 a M-60 a los 14 días.

N° Días	MUESTRA CANTERA EL GAVILÁN									
	M-51	M-52	M-53	M-54	M-55	M-56	M-57	M-58	M-59	M-60
	cambio de longitud %									
1	0.0016	0.0015	0.0018	0.0011	0.0018	0.0012	0.0015	0.0014	0.0016	0.0014
5	0.0658	0.0718	0.0708	0.0528	0.0605	0.0538	0.0495	0.0530	0.0663	0.0536
8	0.0923	0.0920	0.0915	0.0741	0.0849	0.0755	0.0695	0.0744	0.0827	0.0753
11	0.1236	0.1233	0.1205	0.1111	0.1274	0.1132	0.0936	0.0927	0.1302	0.0969
14	0.2390	0.2441	0.2468	0.2211	0.2622	0.2260	0.1912	0.1851	0.2517	0.2021

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 18 variaciones de longitud de barras de mortero El Gavilán M-51 a M-60 a los 14 días.



Fuente: Elaboración del tesista

## RESUMEN DE LA VARIACIÓN DE LONGITUD PROMEDIO

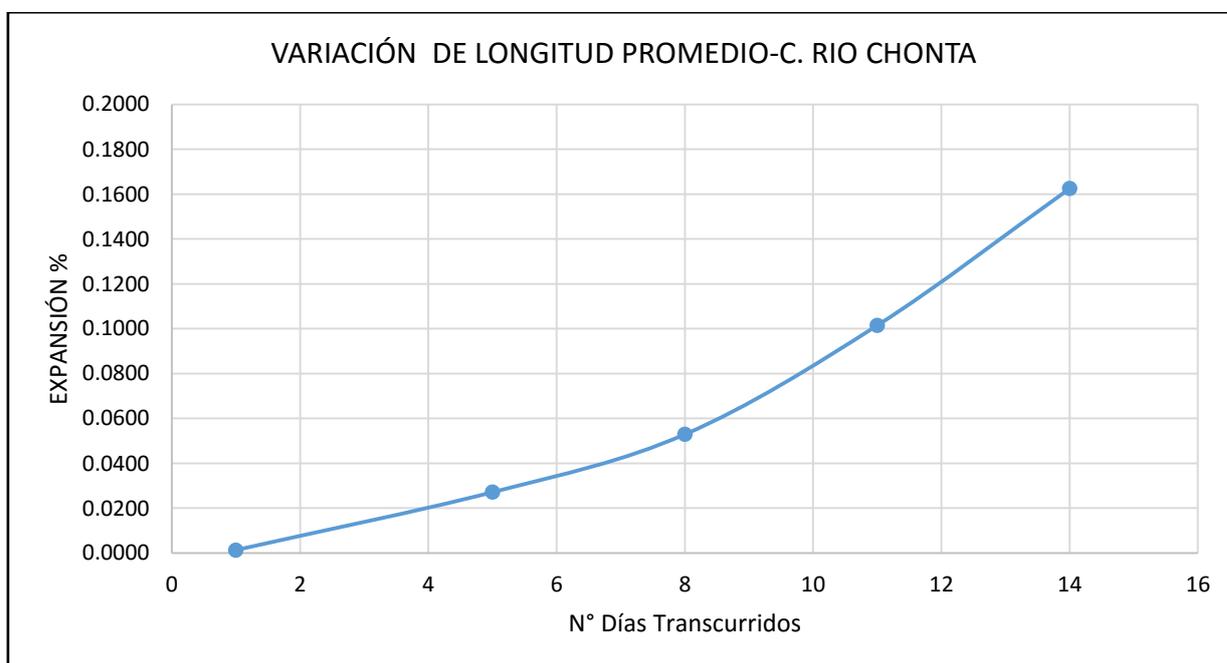
En los siguientes cuadros y gráficos de resumen se muestran el promedio de las 60 muestras tomadas para cada cantera en el periodo de 14 días evaluando el cambio de longitud promedio.

*TABLA N° 24 RESUMEN DE LA VARIACIÓN PROMEDIO DE LONGITUD A LOS 14 DIAS CANTERA RIO CHONTA.*

N° Días	CANTERA RIO CHONTA	
	M-1	
	cambio de longitud %	
1	0.0014	
5	0.0271	
8	0.0529	
11	0.1015	
14	0.1625	

Fuente: Elaboración del tesista

*GRÁFICA N° 19 variaciones promedio de longitud de barras de mortero a los 14 días cantera Río Chonta*



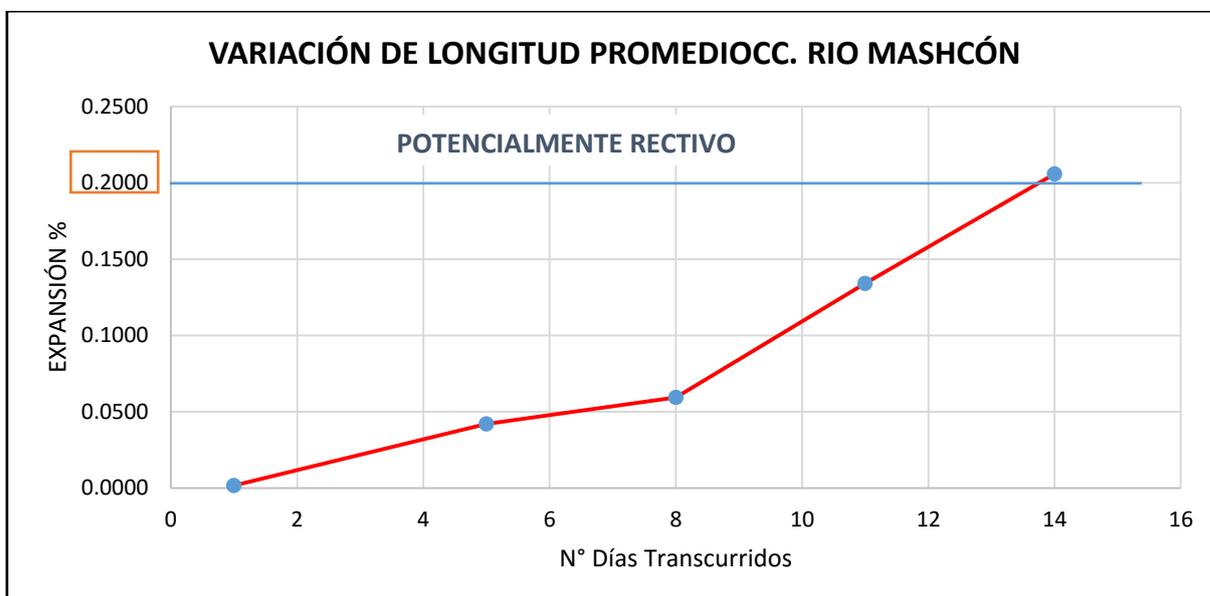
Fuente: Elaboración del tesista

TABALA N° 25 RESUMEN DE LA VARIACIÓN PROMEDIO DE LONGITUD A LOS 14 DÍAS CANTERA RIO MASHCÓN.

N° Días	CANTERA MASHCÓN	
	M-2	
	cambio de longitud %	
1	0.0017	
5	0.0421	
8	0.0593	
11	0.1341	
14	0.2059	

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 20 variaciones promedio de longitud de barras de mortero a los 14 días cantera Río Mashcón



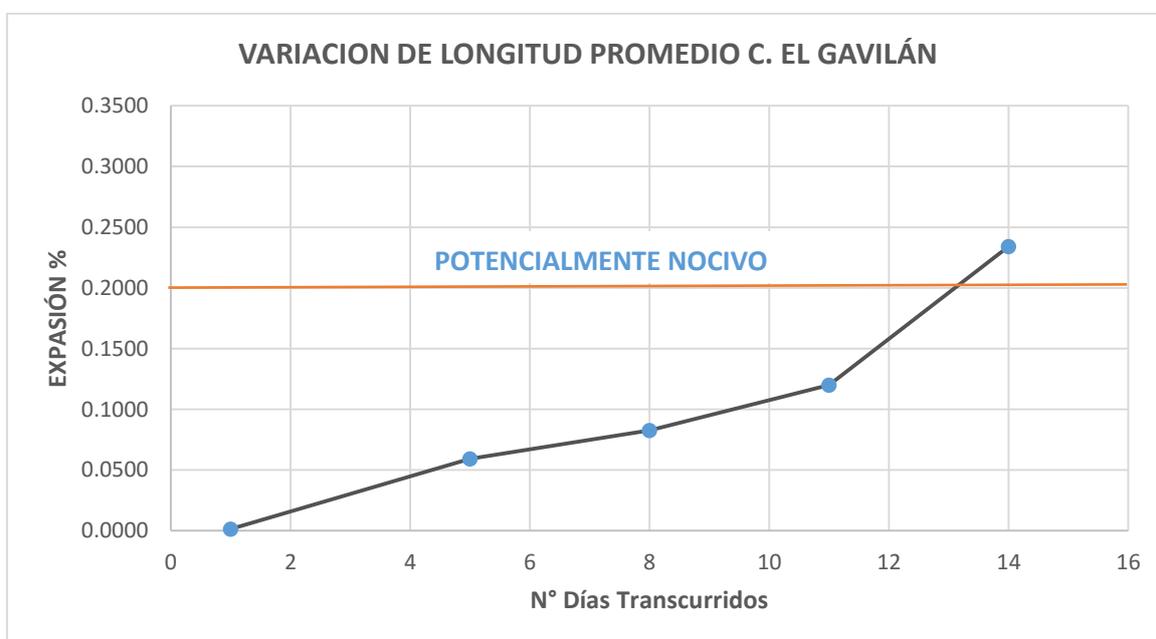
## ANÁLISIS

La variación de la longitud promedio obtenida de las 60 muestras que se tomó para el río chonta en el ensayo de barras de mortero a los 14 días muestran cambios de longitud superior al 0.20% que cataloga al agregado como potencialmente reactivo

**TABLA N° 26 RESUMEN DE LA VARIACIÓN PROMEDIO DE LONGITUD A LOS 14 DÍAS CANTERA EL GAVILÁN.**

N° Días	CANTERA EL GAVILÁN	
	M-3	
	cambio de longitud %	
1	0.0014	
5	0.0594	
8	0.0827	
11	0.1199	
14	0.2342	

**GRÁFICA N° 21 variaciones promedio de longitud de barras de mortero a los 14 días cantera El Gavilán**



Fuente: Elaboración del tesista

## **ANÁLISIS**

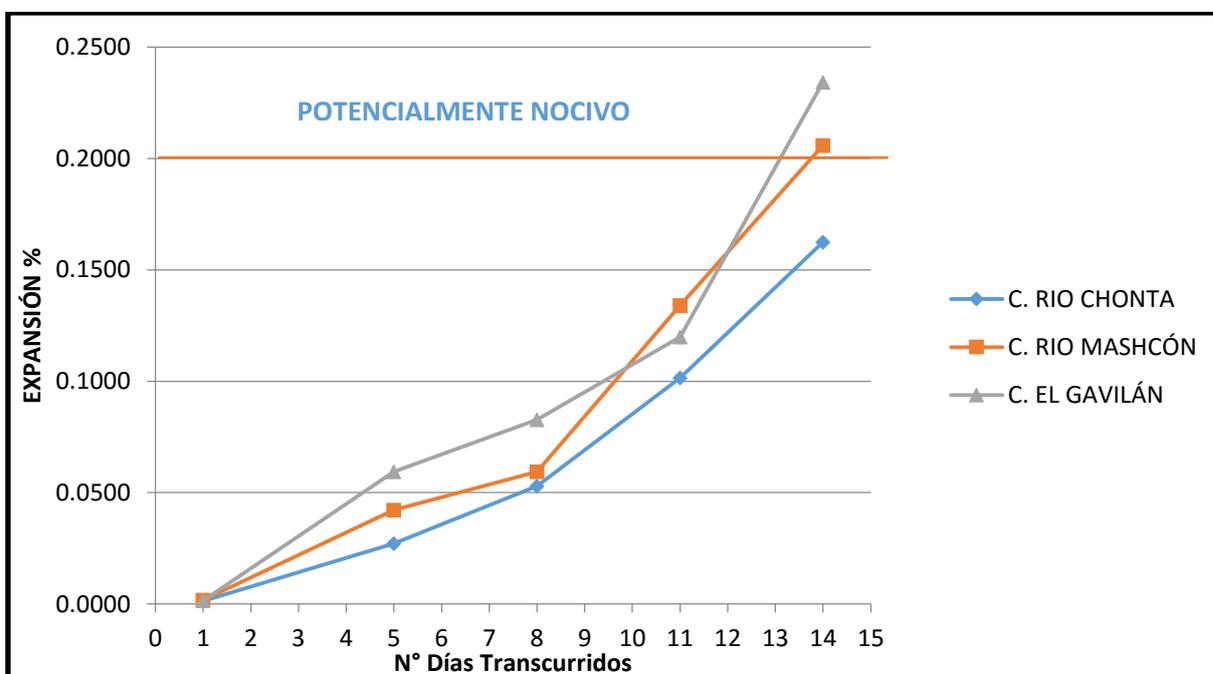
La variación de la longitud promedio obtenida de las 60 muestras que se tomó para la cantera de cerro El Gavilán en el ensayo de barras de mortero a los 14 días muestran cambios de longitud supera el 0.20% que cataloga al agregado como un material de comportamiento potencialmente nocivo.

TABLA N° 27 RESUMEN DE LA VARIACIÓN PROMEDIO DE LONGITUD A LOS 14 DIAS DE LAS 3 CANTERAS

N° Días	CANTERA RIO CHONTA	CANTERA MASHCÓN	CANTERA EL GAVILÁN
	M-1	M-2	M-3
	cambio de longitud %	cambio de longitud %	cambio de longitud %
1	0.0014	0.0017	0.0014
5	0.0271	0.0421	0.0594
8	0.0529	0.0593	0.0827
11	0.1015	0.1341	0.1199
14	0.1625	0.2059	0.2342

Fuente: Elaboración del tesista

GRÁFICA N° 22 variaciones promedio de longitud de barras de mortero a los 14 días de las tres canteras



Fuente: Elaboración del tesista

## ANÁLISIS

La variación de la longitud promedio obtenida de las 3 canteras nos muestra el comportamiento que se obtuvo de cada una de ellas con el método de barras de mortero a los 14 días. Se obtuvo que la cantera el de cerro El Gavilán se cataloga como un materia de comportamiento potencialmente nocivo junto con la cantera de río Mashcón por sobrepasar el 0.20%.

#### 4.5. GEL GENERADO EN LA REACCIÓN ÁLCALI SÍLICE

Como se aprecia en la figura, debido a la reacción se produce un gel, esto es debido a que con expansiones mayores al 1% las barras de mortero presentan fisuras y las probetas comienzan a curvarse, por lo que las mediciones que se realizan pierden precisión y se observa una mayor dispersión de los resultados.



*FIGURA N° 38 barras de mortero a los 14 días extraídas del horno*



*FIGURA N° 39 barras de mortero a los 14 días presencia de fisuras, formación de gel en expansiones mayores a 1.5%*



*FIGURA N° 40 barras de mortero a los 14 días con expansiones mayores a 1.5% presencia de ligeras curvaturas*



*FIGURA N° 41 barras de mortero a los 14 días con expansiones mayores a 1.5% presencia de gel marrón y blanquecino*

Hobbs, D.W. (1986) some tests on fourteen year old concrete affected by the alkali-silica reaction. Noyes Publications. Pp: 342-346. El gel formado por la reacción álcali-sílice es un material fluido con una alta capacidad de movimiento. Este gel puede desarrollarse tanto en la interfase pasta-árido, como en el interior de los propios áridos, si se encuentran fisurados, al infiltrarse por ellos la solución alcalina. Posteriormente el gel se desplaza, acumulándose en poros y fisuras o en la propia pasta de cemento, incluso puede llegar a aparecer finalmente en la superficie del mortero u hormigón.

A lo largo de esta investigación se ha visto en el ensayo de barras de mortero como la disolución alcalina en la están sumergidas las barras de mortero presentaba compuestos blanquecinos en suspensión y que las propias barras presentaban también depósitos en su superficie así como se aprecian en la siguiente figura.



*FIGURA N° 41 barras de mortero a los 14 días con depósitos en la superficie*

#### 4.6. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Para la resistencia a la compresión de del mortero de las tres canteras investigadas se utilizó un mismo diseño de mezclas con una sola dosificación que se obtuvo de la norma ASTM 1260 que es la misma con la que se diseñó los morteros para ensayo de barras de mortero.

##### ***Dosificación***

Se han fabricado 24 probetas para cada tipo diferente de agregado empleando el diseño de la norma ASTM 1260, de acuerdo con la norma, para la elaboración de tres probetas, ha sido de 900 g de árido con la granulometría exigida, relación cemento-árido de 1: 2.25 (400 g de cemento) y una relación agua-cemento de 0.47 (188 g de agua)



*FIGURA N° 42 Probetas de mortero para ensayo a la compresión*



*FIGURA N° 43 Ensayo de resistencia a la compresión*



*FIGURA N° 44 verificación del Ensayo de resistencia a la compresión*

TABLA N° 28 RESULTADO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DIAS DE LAS 3 CANTERAS

ENSAYO N°	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	CANTERA	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm2)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)	RESISTENCIA MÁXIMA (MPA)	% OBTENIDO
1	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-1	4.06	300	5.20	191.17	19.12	63.72%
2	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-2	4.18	300	5.20	196.82	19.68	65.61%
3	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-3	3.98	300	5.30	180.40	18.04	60.13%
4	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-4	4.03	300	5.30	182.67	18.27	60.89%
5	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-5	4.03	300	5.20	189.53	18.95	63.18%
6	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-6	4.05	300	5.30	183.57	18.36	61.19%
7	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-7	4.04	300	5.30	182.90	18.29	60.97%
8	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-1	4.03	300	5.20	189.53	18.95	63.18%
9	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-2	3.95	300	5.30	179.04	17.90	59.68%
10	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-3	3.98	300	5.30	180.40	18.04	60.13%
11	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-4	4.15	300	5.30	188.11	18.81	62.70%
12	13/09/2016	20/09/2016	7	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-5	3.90	300	5.20	183.64	18.36	61.21%

13	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera EL GAVILÁN	MEG-6	3.87	300	5.20	182.23	18.22	60.74%
14	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera EL GAVILÁN	MEG-7	4.10	300	5.30	185.84	18.58	61.95%
15	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera EL GAVILÁN	MEG-8	3.95	300	5.30	179.04	17.90	59.68%

ENSAYO N°	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	CANtera	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA MÁXIMA (MPA)	% OBTENIDO
16	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-1	3.90	300	5.30	176.78	17.68	58.93%
17	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-2	3.85	300	5.30	174.51	17.45	58.17%
18	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-3	3.75	300	5.20	176.58	17.66	58.86%
19	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-4	3.79	300	5.20	178.46	17.85	59.49%
20	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-5	4.05	300	5.30	183.57	18.36	61.19%
21	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-6	4.00	300	5.30	181.31	18.13	60.44%
22	13/09/2016	20/09/2016	7	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-7	3.90	300	5.20	183.64	18.36	61.21%

TABLA N° 29 RESULTADO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DIAS DE LAS 3 CANTERAS

ENSAYO N°	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	CANTERA	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA MÁXIMA (MPA)	% OBTENIDO
1	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-1	4.79	300	5.20	225.55	22.55	75.18%
2	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-2	4.83	300	5.20	227.43	22.74	75.81%
3	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-3	4.93	300	5.30	223.46	22.35	74.49%
4	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-4	4.95	300	5.30	224.37	22.44	74.79%
5	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-5	4.90	300	5.20	230.73	23.07	76.91%
6	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-6	4.93	300	5.30	223.46	22.35	74.49%
7	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-7	4.96	300	5.30	224.82	22.48	74.94%
8	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-1	4.56	300	5.20	214.72	21.47	71.57%
9	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-2	4.75	300	5.30	215.30	21.53	71.77%
10	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-3	4.65	300	5.30	210.77	21.08	70.26%
11	13/09/2016	27/09/2016	14	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-4	4.50	300	5.30	203.97	20.40	67.99%

12	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera EL GAVILÁN	MEG-5	4.39	300	5.20	206.71	20.67	68.90%
13	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera EL GAVILÁN	MEG-6	4.40	300	5.20	207.18	20.72	69.06%
14	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera EL GAVILÁN	MEG-7	4.35	300	5.30	197.17	19.72	65.72%
15	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera EL GAVILÁN	MEG-8	4.39	300	5.30	198.76	19.88	66.25%

ENSAYO N°	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	CANtera	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA MÁXIMA (MPA)	% OBTENIDO
16	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-1	4.25	300	5.30	192.64	19.26	64.21%
17	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-2	4.35	300	5.30	197.17	19.72	65.72%
18	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-3	4.39	300	5.20	206.71	20.67	68.90%
19	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-4	4.30	300	5.20	202.48	20.25	67.49%
20	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-5	4.35	300	5.30	197.17	19.72	65.72%
21	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-6	4.19	300	5.30	189.69	18.97	63.23%
22	13/09/2016	27/09/2016	14	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-7	4.29	300	5.20	202.00	20.20	67.33%

TABLA N° 30 RESULTADO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 30 DIAS DE LAS 3 CANTERAS

ENSAYO N°	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	CANTERA	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA MÁXIMA (MPA)	% OBTENIDO
1	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-1	5.65	300	5.20	266.04	26.60	88.68%
2	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-2	5.45	300	5.20	256.63	25.66	85.54%
3	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-3	5.49	300	5.30	248.85	24.88	82.95%
4	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-4	5.55	300	5.30	251.57	25.16	83.86%
5	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-5	5.58	300	5.20	262.75	26.27	87.58%
6	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-6	5.58	300	5.30	252.93	25.29	84.31%
7	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-7	5.59	300	5.30	253.15	25.32	84.38%
8	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-1	5.35	300	5.20	251.92	25.19	83.97%
9	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-2	5.38	300	5.30	243.86	24.39	81.29%
10	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-3	5.42	300	5.30	245.67	24.57	81.89%
11	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-4	5.45	300	5.30	247.03	24.70	82.34%
12	13/09/2016	11/10/2016	28	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-5	5.49	300	5.20	258.51	25.85	86.17%

13	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera EL GAVILÁN	MEG-6	5.39	300	5.20	253.80	25.38	84.60%
14	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera EL GAVILÁN	MEG-7	5.40	300	5.30	244.72	24.47	81.57%
15	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera EL GAVILÁN	MEG-8	5.38	300	5.30	243.86	24.39	81.29%

ENSAYO N°	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	CANtera	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm2)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)	RESISTENCIA MÁXIMA (MPA)	% OBTENIDO
16	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-1	5.39	300	5.30	244.31	24.43	81.44%
17	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-2	5.36	300	5.30	242.95	24.30	80.98%
18	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-3	5.37	300	5.20	252.62	25.26	84.21%
19	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-4	5.36	300	5.20	252.34	25.23	84.11%
20	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-5	5.35	300	5.30	242.50	24.25	80.83%
21	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-6	5.37	300	5.30	243.18	24.32	81.06%
22	13/09/2016	11/10/2016	28	CANtera RIO MASHCÓN	MRM-7	5.39	300	5.20	253.56	25.36	84.52%

TABLA N° 31 RESULTADO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 60 DIAS DE LAS 3 CANTERAS

ENSAYO N°	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	CANTERA	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm <sup>2</sup> )	RESISTENCIA MÁXIMA (MPA)	% OBTENIDO
1	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-1	6.65	300	5.20	313.13	31.31	104.38%
2	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-2	6.59	300	5.20	310.31	31.03	103.44%
3	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-3	6.50	300	5.30	294.63	29.46	98.21%
4	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-4	6.55	300	5.30	296.89	29.69	98.96%
5	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-5	6.58	300	5.20	309.83	30.98	103.28%
6	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-6	6.59	300	5.30	298.71	29.87	99.57%
7	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO CHONTA	MRCH-7	6.59	300	5.30	298.71	29.87	99.57%
8	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-1	6.30	300	5.20	296.65	29.66	98.88%
9	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-2	6.25	300	5.30	283.29	28.33	94.43%
10	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-3	6.29	300	5.30	285.11	28.51	95.04%
11	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-4	6.29	300	5.30	284.88	28.49	94.96%
12	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-5	6.36	300	5.20	299.43	29.94	99.81%

13	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-6	6.35	300	5.20	299.00	29.90	99.67%
14	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-7	6.35	300	5.30	287.78	28.78	95.93%
15	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA EL GAVILÁN	MEG-8	6.35	300	5.30	287.92	28.79	95.97%

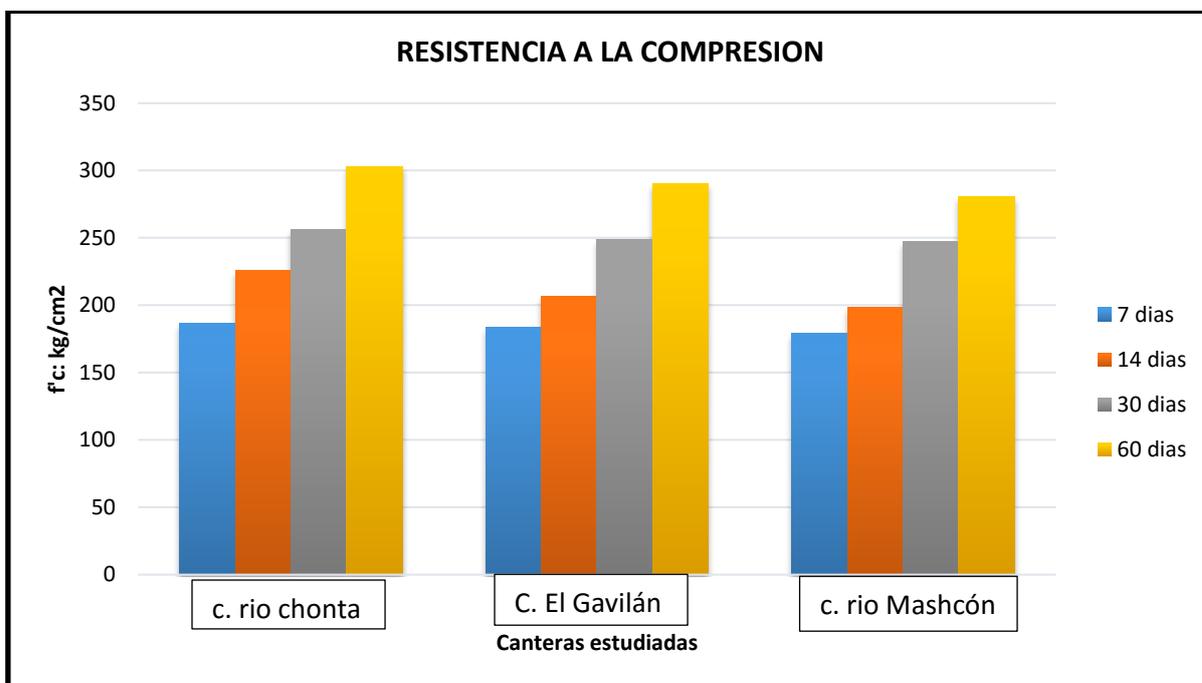
ENSAYO N°	FECHA DE FABRICACIÓN	FECHA DE ENSAYO	EDAD (días)	CANTERA	CÓDIGO	CARGA DE ROTURA (Tn)	f'c (Kg/cm2)	DIÁMETRO (cm)	RESISTENCIA MÁXIMA (Kg/cm2)	RESISTENCIA MÁXIMA (MPA)	% OBTENIDO
16	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO MASHCÓN	MRM-1	6.35	300	5.30	287.83	28.78	95.94%
17	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO MASHCÓN	MRM-2	6.35	300	5.30	287.87	28.79	95.96%
18	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO MASHCÓN	MRM-3	6.36	300	5.20	299.52	29.95	99.84%
19	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO MASHCÓN	MRM-4	6.35	300	5.20	298.96	29.90	99.65%
20	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO MASHCÓN	MRM-5	6.35	300	5.30	287.83	28.78	95.94%
21	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO MASHCÓN	MRM-6	6.36	300	5.30	288.28	28.83	96.09%
22	13/09/2016	12/11/2016	60	CANTERA RIO MASHCÓN	MRM-7	6.36	300	5.20	299.52	29.95	99.84%

#### 4.6.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS EXPANSIÓN A LOS 14 DÍAS

Se hizo una comparación entre la expansión promedio a los 14 días de cada una de las canteras y la resistencia a la compresión obtenida para cada una las cuales se muestran en el siguiente cuadro.

Resistencia a la compresión	CANTERA RIO CHONTA		CANTERA EL GAVILÁN		CANTERA RIO MASHCÓN	
	Kg/cm2	MPa	Kg/cm2	MPa	Kg/cm2	MPa
7 días	186.72	18.67	183.48	18.35	179.26	17.93
14 días	225.69	22.57	206.82	20.68	198.27	19.83
30 días	255.99	25.60	248.67	24.87	247.35	24.74
60 días	303.17	30.32	290.51	29.05	280.5	28.05
Expansión a los 14 días	0.16246		0.2342		0.2059	

Tabla 32. Resumen de la resistencia a la compresión a los 60 días de las 3 canteras y expansión promedio a los 14 días.



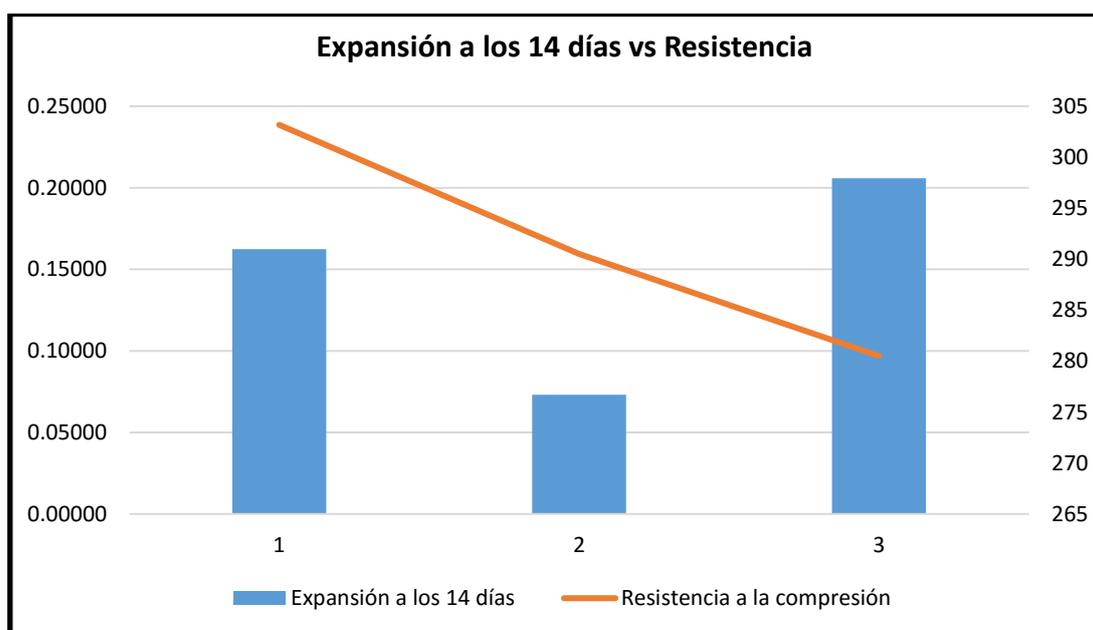
GRÁFICA N° 22 Comportamiento de la resistencia a la compresión de las canteras a los 7, 14, 30, 60 días

Como se puede observar en la gráfica 22 el comportamiento de las 3 canteras es diferente con el mismo diseño de mezclas observándose que la alcanza una mayor resistencia a la compresión es la cantera proveniente del rio chonta mientras que la obtiene menor resistencia es la cantera proveniente del rio Mashcón.

Como se observa en el gráfico 23 de expansión a los 14 días vs resistencia a la compresión obtenida a los 60 días podemos observar que el agregado obtenido del río Mashcón se obtuvo una menor resistencia a la compresión y la vez una mayor deformación obtenida a los 14 días categorizando a este tipo de material como un material inocuo para construcciones hidráulicas.

El comportamiento del agregado procedente del río chonta pese a tener un buen comportamiento a la resistencia a la compresión sus valores de expansión ensayados por el método de barras de mortero son muy cercanos a los valores máximos permisibles por que se tiene que realizar un estudio más detallado del material.

El comportamiento del agregado de cerro procedente de la cantera de El Gavilán por el método de barras de mortero lo califican como material potencialmente nocivo a la reacción álcali sílice, pero para que alcance la resistencia obtenida se tiene que tener controlada su gradación ya que es un materia con gran cantidad de finos.



GRÁFICA N° 23 Comportamiento de la resistencia a la compresión vs expansión a los 14 días.

#### **4.7. CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

De acuerdo con la hipótesis planteada, que el agregado fino de las 3 canteras supera el límite máximo permisible de 0.20% de expansión según la Norma ASTM C1260. De acuerdo a los ensayos obtenidos, se obtuvo que la cantera del río Mashcón y la cantera de cerro El Gavilán superan los límites permisibles según la Norma ASTM 1260, con 0.21% y 0.25% respectivamente de expansión; mientras que la cantera de rio Chonta se encuentra cercana a los límites máximos permisibles con 0.16%.

Mediante la investigación se pudo determinar que con ensayo a las diferentes canteras se demostró que la composición mineralógica de cada tipo de agregados influye en la reacción Álcali Sílice. Debido a que se utilizaron agregados con diferente composición mineralógica se pudo observar que la expansión generada variaba con la procedencia de la cantera.

La Reacción Álcali-Sílice (RAS) en los agregados es nociva para el concreto. Debido a que genera expansiones a futuro provocando fisuras irreparables en las estructuras.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- (1) De las canteras estudiadas, se encontró que el agregado fino de las canteras procedentes de río Mashcón y de cerro EL Gavilán superan los límites máximos permisibles de 0.20% siendo el agregado fino potencialmente nocivo, mientras que el agregado del río Chonta se encuentra cercano a los valores máximos permisibles, teniendo en cuenta como precaución un mayor control de dicha cantera.
- (2) El cemento cumple los requisitos de un cemento portland tipo I, como se especifica en ASTM C150, de tener un contenido de álcali de  $0.9 \pm 0.1\%$  de Sodio equivalente, El sodio equivalente se calcula como porcentaje de  $\text{Na}_2\text{O} \pm 0.658 \times \text{porcentaje de } \text{K}_2\text{O} \leq 0.60\%$ ). Por ser un cemento de tipo puzolánico contiene mínimo porcentaje de óxido de sodio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ). Dentro de las especificaciones químicas del cemento, cumple los requisitos técnicos de la Norma.
- (3) El método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de agregados (Método de la barra del mortero) es un método rápido que nos ayuda a determinar en un plazo de 14 días si el agregado cumple con los estándares de un agregado inocuo o potencialmente nocivo.
- (4) Existen otros métodos para determinar la reactividad álcali sílice como el método químico (ASTM C289), Método petrográfico (ASTM C 295), siendo este último el más adecuado, su periodo de ensayo es de 6 a 12 meses.
- (5) El fenómeno del potencial de reactividad álcali-sílice, produce daños de expansión irreparable en el concreto.

- (6) Se han detectado la cantera de río Chonta y el Gavilán con reactividad álcali-sílice que sobrepasa los valores máximos permisibles superando el 0.20% de expansión por lo cual debemos prestar mayor importancia a este fenómeno monitoreado constantemente este parámetro en nuestras canteras de agregados.
- (7) La reactividad álcali-sílice produce un gel debido a la reacción del álcali con el agregado reactivo en presencia del agua, que se expande creando fuerzas de tracción en el interior del concreto, la expansión finalmente genera el agrietamiento del concreto.
- (8) La humedad ambiental, debe ser como mínimo de 65% a 80% para que se produzca la reacción química y la temperatura incrementa la velocidad de reacción.
- (9) La cantera de cerro El Gavilán por su composición mineralogía del agregado originó mayor expansión superando el 0.20%, respecto a los agregados de las dos canteras de río.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- (1) Se recomienda que para futuras investigaciones se realice el estudio de reactividad álcali sílice con el método químico (ASTM C289) y el método petrográfico (ASTM C295) en las canteras que se han encontrado valores cercanos a los límites permisibles.
- (2) Para el desarrollo del ensayo se puede utilizar otras marcas de cemento IP (Cemento Andino Portland tipo IP, Cemento Lima portland tipo IP, Cemento portland puzolánico IP “Atlas” )
- (3) Realizar ensayos de reacción álcali sílice (ASTM 1260) y álcali carbonatos (ASTM 1105) utilizando cementos Portland (ASTM C150) con agregados de cantera de Cajamarca.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) AENOR, (1999) Ensayos de áridos. Determinación de la reactividad potencial álcali-sílice de los áridos. Método acelerado de probetas de mortero
- (2) Alaejos Gutierrez, Pilar y Bermudez., (2003) Durabilidad y procesos de degradación del hormigón en presas. Estudio bibliográfico. Madrid.
- (3) American Society for Testing and Materials (ASTM), Standart test method for potential alkali reactivity of cement aggregate combinations (mortar bar method).
- (4) American Society for Testing and Materials (ASTM), Standart guide for petrographic examination of aggergates for concrete. C 295-98
- (5) American Society for Testing and Materials (ASTM), (2001) Standart test method for potential alkali reactivity of aggregates (chemical method). C 289-01.
- (6) American Society for Testing and Materials (ASTM), (2001) Standart test method for potential alkali reactivity of aggregates (chemical method). C 289-01.
- (7) American Society for Testing and Materials (ASTM), (2005) Standart test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method). C 1260
- (8) Barra de Oliveira, Marilda, (1996) Estudio de la Durabilidad del Hormigón de Árido Reciclado en su aplicación como hormigón estructural. Tesis Doctoral.
- (9) Comité Español de Grandes Presas. (1991). Reaccion álcali-árido en presas de hormigón. Ideas generales y recomendaciones. Servivio de Publicaciones del Colegio de Ingenieros de Caminos, canales y puertos. Madrid, pp.109.

- (10) Hobbs, Bruce E.; Means, Winthrop D. y Williams, Paul F., (1976) An outline of structural geology. New York: John Wiley.
- (11) Hobbs, D. W. (1986) Some test son fourteen year old concrete affected byte alkali-silica reaction. En: Proceedings of the 7th International conference on Alkali-Aggregate Reaction in concrete.pp342-346
- (12) Hooton, R. D., and Rogers, C. A. "Evaluation of Rapid Test Methods for Detecting Alkali-Reactive Aggregates". Proceedings, Eighth International Conference on Alkali-Aggregates Reaction, Kyoto, 1989, pp. 439-444.
- (13) Hobbs, D. W. (1988) Alkali-silica reaction in concrete. London, England: Thomas Telford
- (14) Hooton Español de Grandes Presas- (1991). Reacción álcali-árido en presas de hormigón. Ideas generales y recomendaciones. Servicio de publicaciones del colegio de Ingenieros de caminos, canales y puertos. Madrid. pp.109.
- (15) Ichikawa, Tsuneki, (2009) Alkali-Silica reaction, pessimum effects and pozzolanic effect. Cement and concrete Research. Pp. 716-726.
- (16) Norma Técnica Peruana (NTP), (2011) Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de agregados (Método de la barra del mortero), NTP 334.110.
- (17) Poole, Alan B., (1992) Alkali silica reactivity mechanisms of gel formation and expansión. En: Proceedings of the 9<sup>th</sup> International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in concrete. Ed: A.B. Poole pp: 782-789.
- (18) Poole, Alan B., (1992) Introduction to alkali-aggregate reaction in concrete. In the alkali-silica reaction in cocrete, R.N. Swamy, Editor.pp. 1-29.

- (19) Poole, Alan B.; McLachlan, A. y Ellis (1988) A simple staining technique for the identification of alkali-silica gel in concrete and aggregate. Cement and concrete Research. Pp. 116-120
- (20) Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, reactividad Alkali Sílice, pp 823.

## ANEXO 01. ENSAYOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS DEL AGREGADO FINO (A.S.T.M. C 136 / NTP 400.012)

CANTERA: ROCA FUERTE (RIO CHONTA)

Tabla 32. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 1.

<b>PESO SECO INICIAL =</b>		<b>2500.00 gr.</b>	<b>MÓDULO DE FINURA</b>		<b>3.65</b>
<b>PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =</b>		<b>14.00 gr.</b>			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	540.00	21.61	21.61	78.39
N° 8	2.36	405.00	16.21	37.82	62.18
N° 16	1.18	345.00	13.81	51.62	48.38
N° 30	0.60	450.00	18.01	69.63	30.37
N° 50	0.30	435.00	17.41	87.03	12.97
N° 100	0.15	195.00	7.80	94.84	5.16
N° 200	0.075	115.00	4.60	99.44	0.56
CAZOLETA	--	14.00	0.56	100.00	0.00
TOTAL		2459.00			

Fuente: Elaboración del tesista.

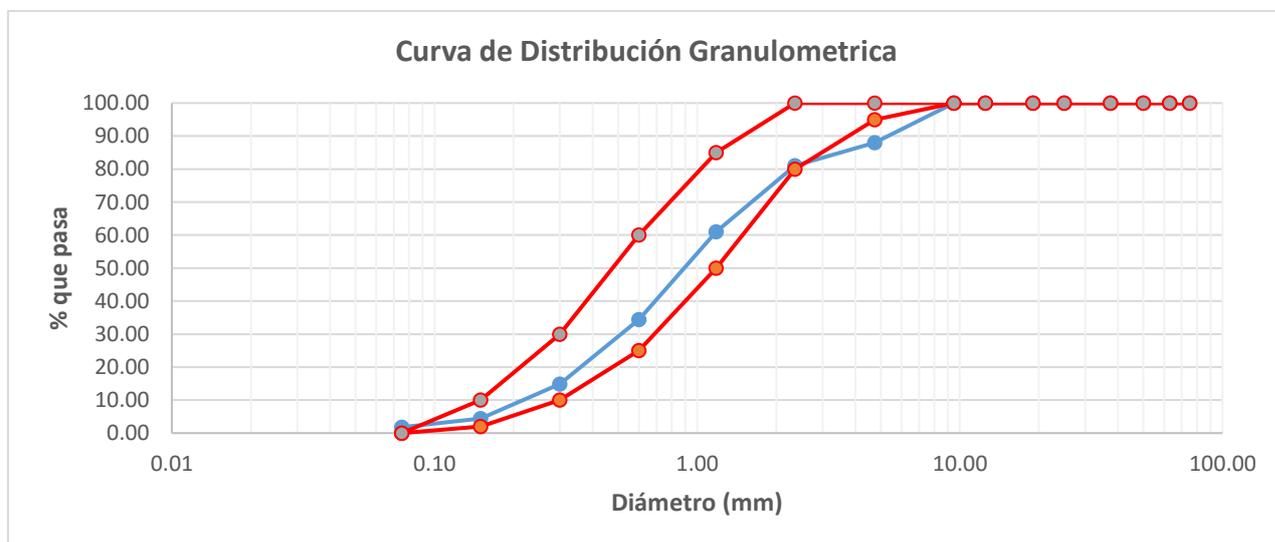


Gráfico 23. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°1

**Nota:**

La curva granulométrica del agregado fino cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

Tabla 33. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 2.

PESO SECO INICIAL =		1230.50 gr.	MÓDULO DE FINURA	3.68	
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		17.50 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	256.20	21.10	21.10	78.90
N° 8	2.36	201.40	16.59	37.69	62.31
N° 16	1.18	238.70	19.66	57.35	42.65
N° 30	0.60	154.70	12.74	70.09	29.91
N° 50	0.30	192.60	15.86	85.95	14.05
N° 100	0.15	120.40	9.92	95.87	4.13
N° 200	0.075	32.70	2.69	98.56	1.44
CAZOLETA	--	33.70	1.44	100.00	0.00
TOTAL	1230.40				

Fuente: Elaboración del tesista.

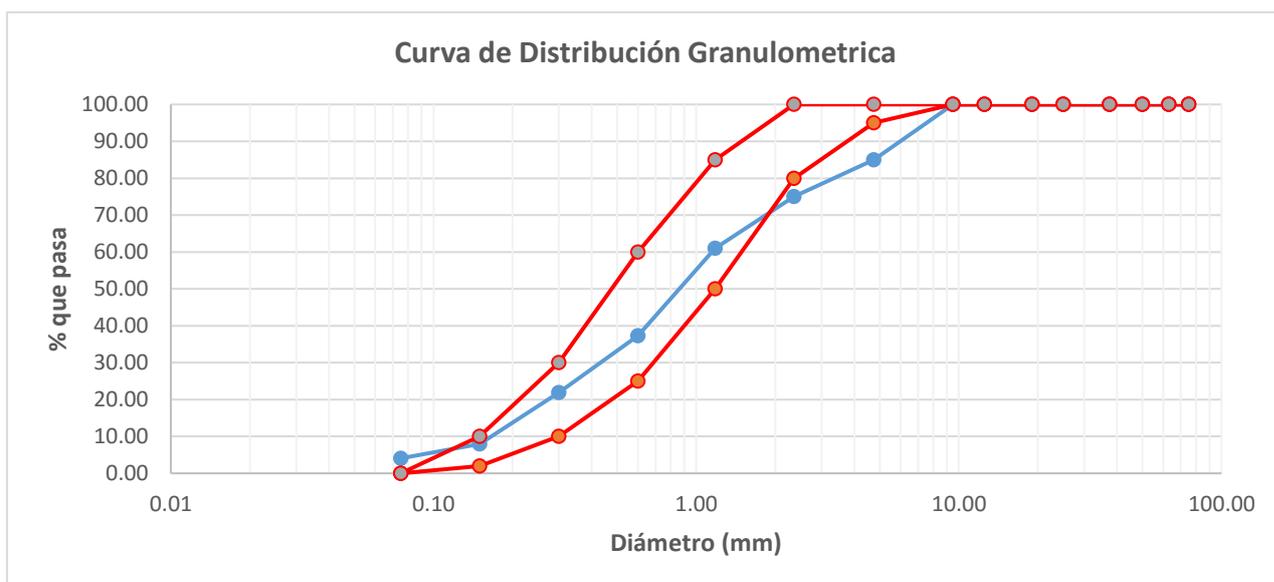


Gráfico 24. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°2

**Nota:**

La curva granulométrica del agregado fino cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

Tabla 34. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 3.

PESO SECO INICIAL =		2720.00 gr.		MÓDULO DE FINURA	3.67
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		8.00 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	571.00	21.82	21.82	78.18
N° 8	2.36	583.00	22.28	44.10	55.90
N° 16	1.18	340.00	12.99	57.09	42.91
N° 30	0.60	320.00	12.23	69.32	30.68
N° 50	0.30	457.00	17.46	86.78	13.22
N° 100	0.15	300.00	11.46	98.24	1.76
N° 200	0.075	38.00	1.45	99.69	0.31
CAZOLETA	--	8.00	0.31	100.00	0.00
TOTAL	2617.00				

Fuente: Elaboración del tesista.

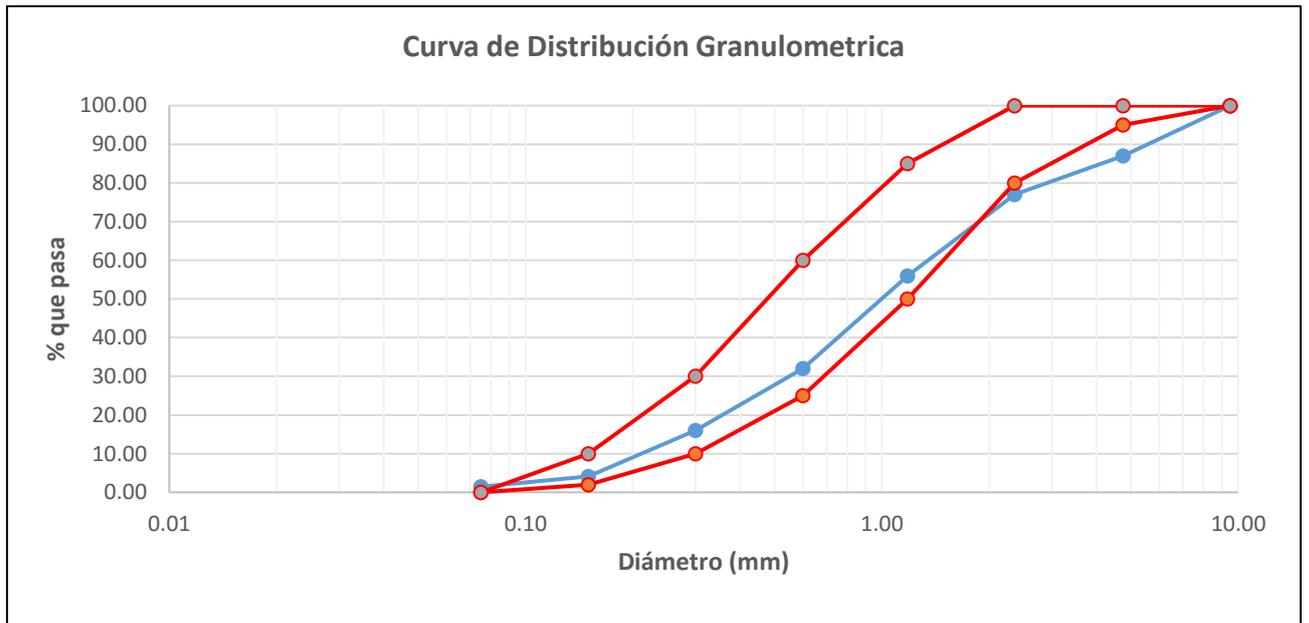


Gráfico 25. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°3

**Nota:**

La curva granulométrica del agregado fino cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

## CANTERA DE CERRO: EL GAVILÁN

Tabla 35. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 1.

PESO SECO INICIAL =		2101.50 gr.	MÓDULO DE FINURA	2.68	
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		122.70 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	246.60	11.88	11.88	88.12
N° 8	2.36	391.10	18.84	30.71	69.29
N° 16	1.18	280.70	13.52	44.23	55.77
N° 30	0.60	193.30	9.31	53.54	46.46
N° 50	0.30	386.80	18.63	72.17	27.83
N° 100	0.15	277.10	13.35	85.51	14.49
N° 200	0.075	178.10	8.58	94.09	5.91
CAZOLETA	--	137.70	5.91	100.00	0.00
TOTAL		2091.40			

Fuente: Elaboración del tesista.

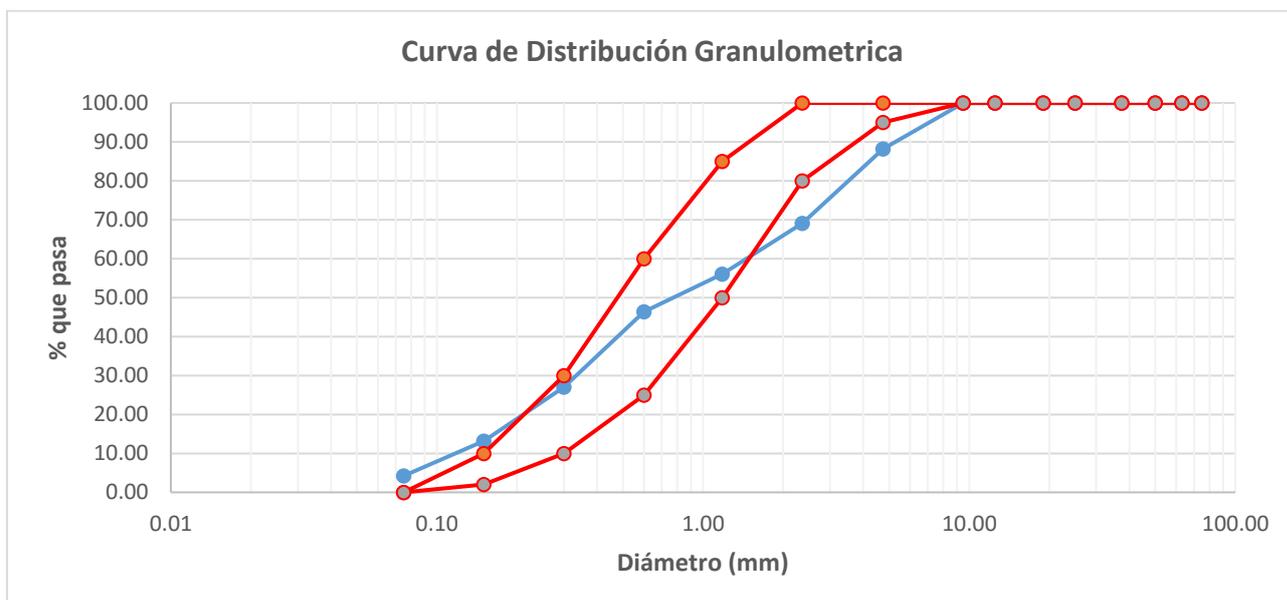


Gráfico 26. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°1

### Nota:

La curva granulométrica del agregado fino no cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

Tabla 36. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 2.

PESO SECO INICIAL =		2000.00 gr.	MÓDULO DE FINURA	2.66	
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		84.75 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	236.00	11.81	11.81	88.19
N° 8	2.36	381.50	19.09	30.91	69.09
N° 16	1.18	260.45	13.04	43.94	56.06
N° 30	0.60	193.30	9.67	53.62	46.38
N° 50	0.30	386.80	19.36	72.98	27.02
N° 100	0.15	277.10	13.87	86.84	13.16
N° 200	0.075	178.10	8.91	95.76	4.24
CAZOLETA	--	84.75	4.24	100.00	0.00
TOTAL		1998.00			

Fuente: Elaboración del tesista.

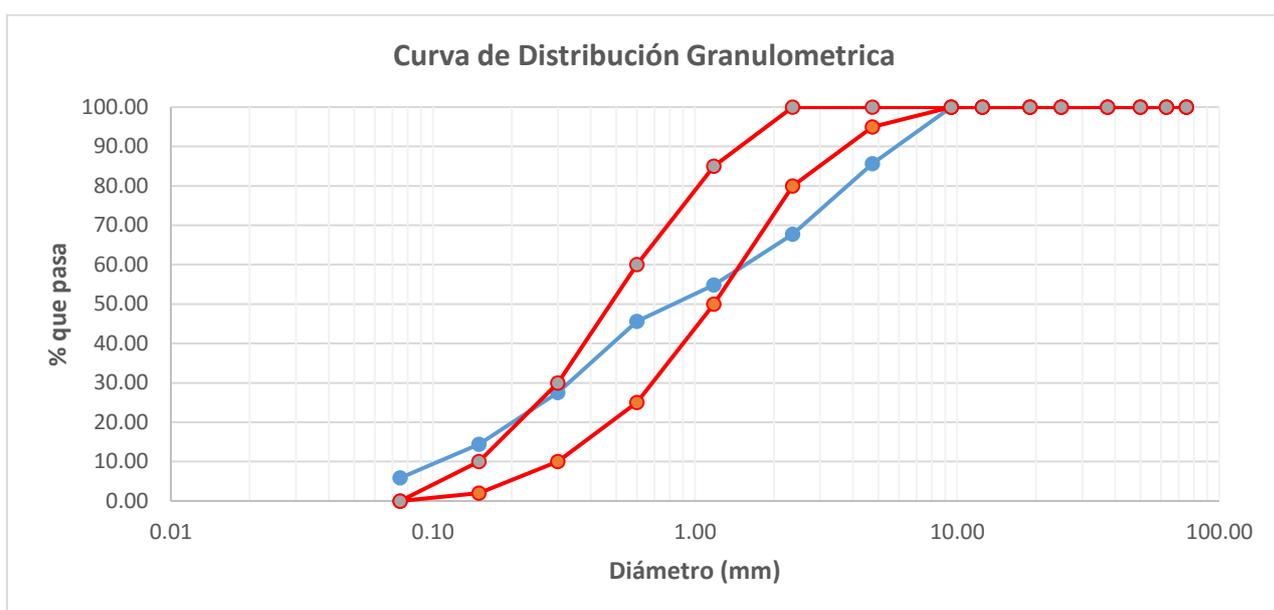


Gráfico 27. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°2

**Nota:**

La curva granulométrica del agregado fino no cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

Tabla 37. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 3.

PESO SECO INICIAL =		2000.00 gr.	MÓDULO DE FINURA	2.67	
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		122.70 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	300.00	14.33	14.33	85.67
N° 8	2.36	375.00	17.91	32.23	67.77
N° 16	1.18	270.00	12.89	45.13	54.87
N° 30	0.60	193.30	9.23	54.36	45.64
N° 50	0.30	380.00	18.15	72.50	27.50
N° 100	0.15	275.00	13.13	85.64	14.36
N° 200	0.075	178.10	8.50	94.14	5.86
CAZOLETA	--	122.70	5.86	100.00	0.00
TOTAL		2094.10			

Fuente: Elaboración del tesista

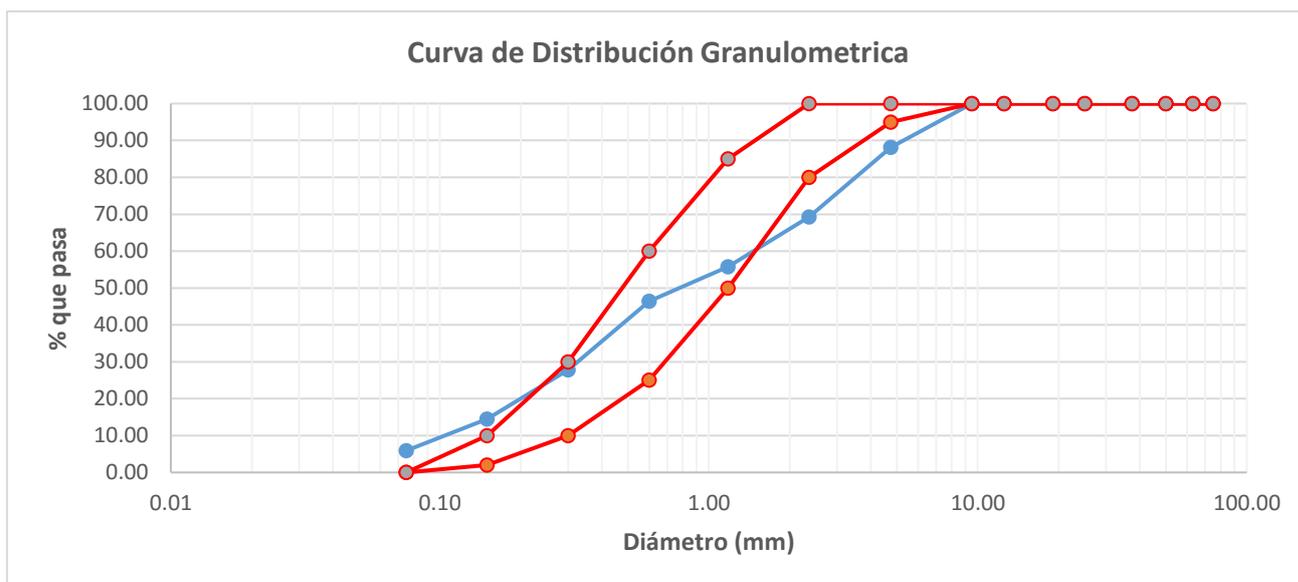


Gráfico 28. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°3

**Nota:**

La curva granulométrica del agregado fino no cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

## CANTERA CHAVEZ (RIO MASHCÓN)

Tabla 38. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 1.

<b>PESO SECO INICIAL =</b>		<b>1110.00 gr.</b>	<b>MÓDULO DE FINURA</b>		<b>3.49</b>
<b>PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =</b>		<b>19.70 gr.</b>			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	207.20	18.94	18.94	81.06
N° 8	2.36	186.60	17.06	36.00	64.00
N° 16	1.18	137.40	12.56	48.56	51.44
N° 30	0.60	183.50	16.77	65.33	34.67
N° 50	0.30	215.90	19.73	85.06	14.94
N° 100	0.15	114.60	10.48	95.54	4.46
N° 200	0.075	29.10	2.66	98.20	1.80
CAZOLETA	--	19.70	1.80	100.00	0.00
TOTAL	1094.00				

Fuente: Elaboración del tesista

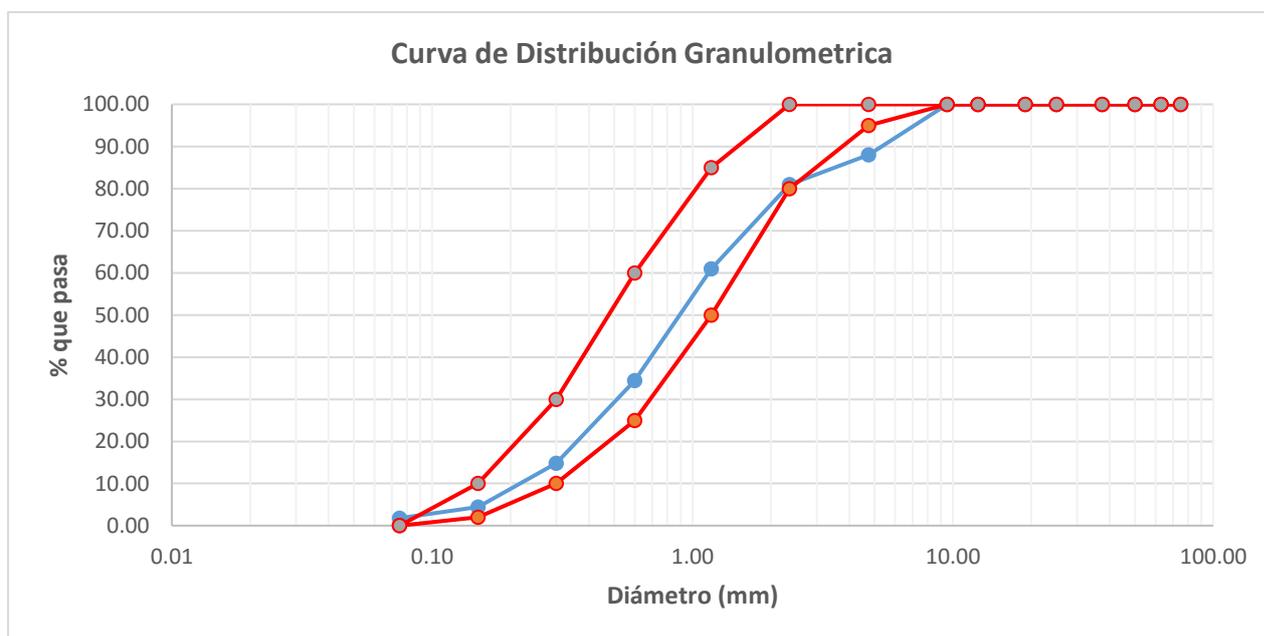


Gráfico 29. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°1

**Nota:**

La curva granulométrica del agregado fino no cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

Tabla 39. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 2.

PESO SECO INICIAL =		1500.00 gr.	MÓDULO DE FINURA	3.44	
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		19.70 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	307.20	20.56	20.56	79.44
N° 8	2.36	286.60	19.18	39.75	60.25
N° 16	1.18	237.40	15.89	55.64	44.36
N° 30	0.60	283.50	18.98	74.61	25.39
N° 50	0.30	215.90	14.45	89.06	10.94
N° 100	0.15	114.60	7.67	96.73	3.27
N° 200	0.075	29.10	1.95	98.68	1.32
CAZOLETA	--	19.70	1.32	100.00	0.00
TOTAL		1494.00			

Fuente: Elaboración del tesista

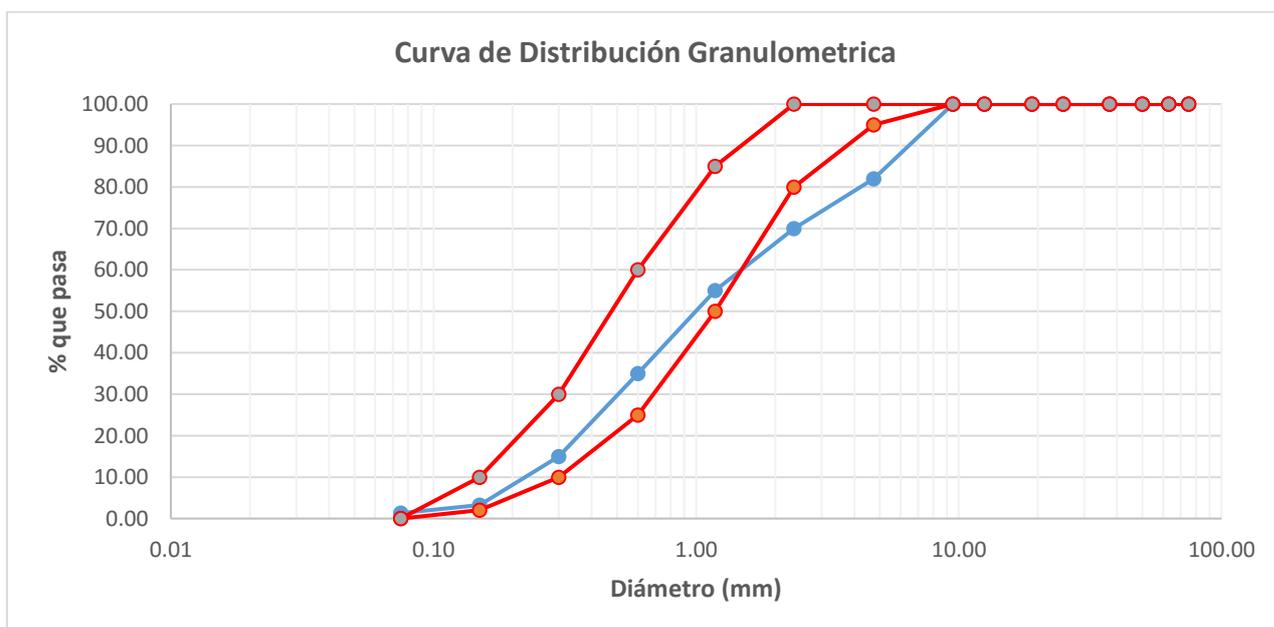


Gráfico 30. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°2

**Nota:**

La curva granulométrica del agregado fino no cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

Tabla 40. Granulometría del agregado fino – ensayo N° 3.

PESO SECO INICIAL =		1110.00 gr.	MÓDULO DE FINURA	3.50	
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200) =		19.70 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	210.50	19.10	19.10	80.90
N° 8	2.36	186.60	16.93	36.03	63.97
N° 16	1.18	142.20	12.90	48.93	51.07
N° 30	0.60	183.50	16.65	65.58	34.42
N° 50	0.30	215.90	19.59	85.17	14.83
N° 100	0.15	114.60	10.40	95.57	4.43
N° 200	0.075	29.10	2.64	98.21	1.79
CAZOLETA	--	19.70	1.79	100.00	0.00
TOTAL	1102.10				

Fuente: Elaboración del tesista

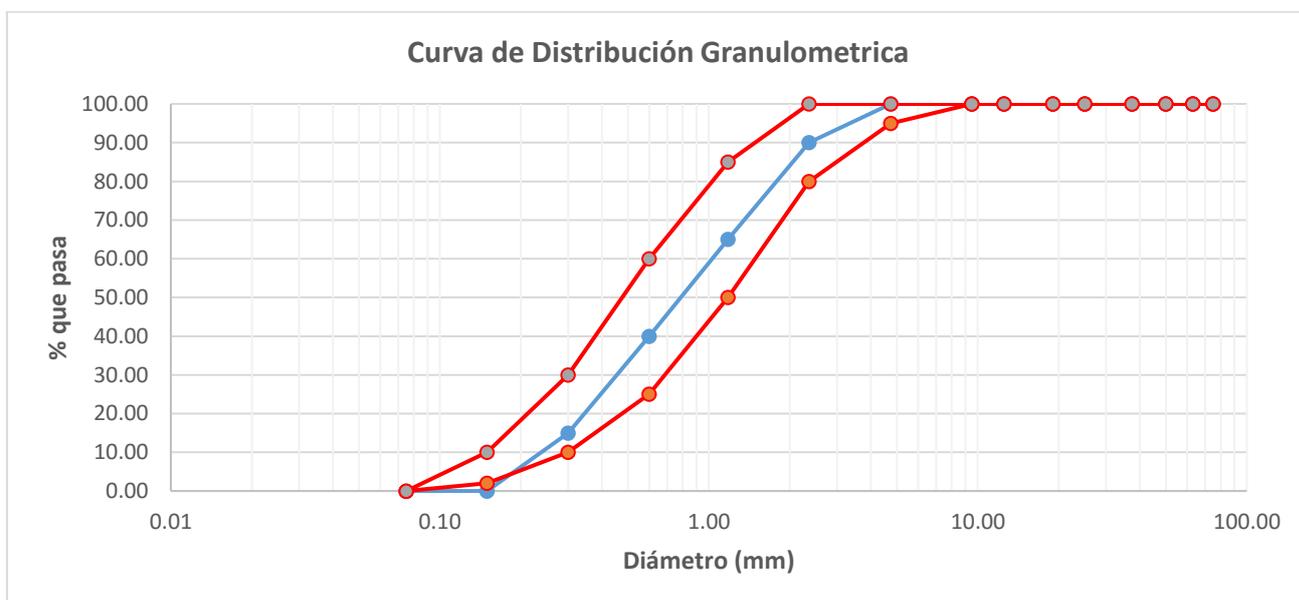


Gráfico 31. Curva granulométrica del agregado fino ensayo N°3

**Nota:**

La curva granulométrica del agregado fino no cumple con el huso granulométrico "C" de la norma ASTM C33. Para el ensayo de barras de mortero se adaptó a los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

**Tabla 41. Requisito de gradación**

Para realizar el método de barras de mortero, el agregado fino de las 3 canteras tuvo que cumplir con el requisito de gradación de la siguiente tabla (NTP 334.110).

Tamaño del tamiz		Porcentaje en peso (%)
Tamiz que pasa	Tamiz que retiene	
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)	15

PESO SECO INICIAL		0.00 gr.		MÓDULO DE FINURA	2.90
PESO SECO MENOR QUE 0.075 mm. (MALLA N° 200)		0.00 gr.			
TAMIZ N°	ABERTURA TAMIZ (mm.)	PESO RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO		PORCENTAJE QUE PASA
			PARCIAL	ACUMULADO	
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.36	0.00	10.00	10.00	90.00
N° 16	1.18	0.00	25.00	35.00	65.00
N° 30	0.60	0.00	25.00	60.00	40.00
N° 50	0.30	0.00	25.00	85.00	15.00
N° 100	0.15	0.00	15.00	100.00	0.00
N° 200	0.075	0.00	0.00	100.00	0.00
CAZOLETA	--	0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		0.00			

Fuente: Elaboración del tesista

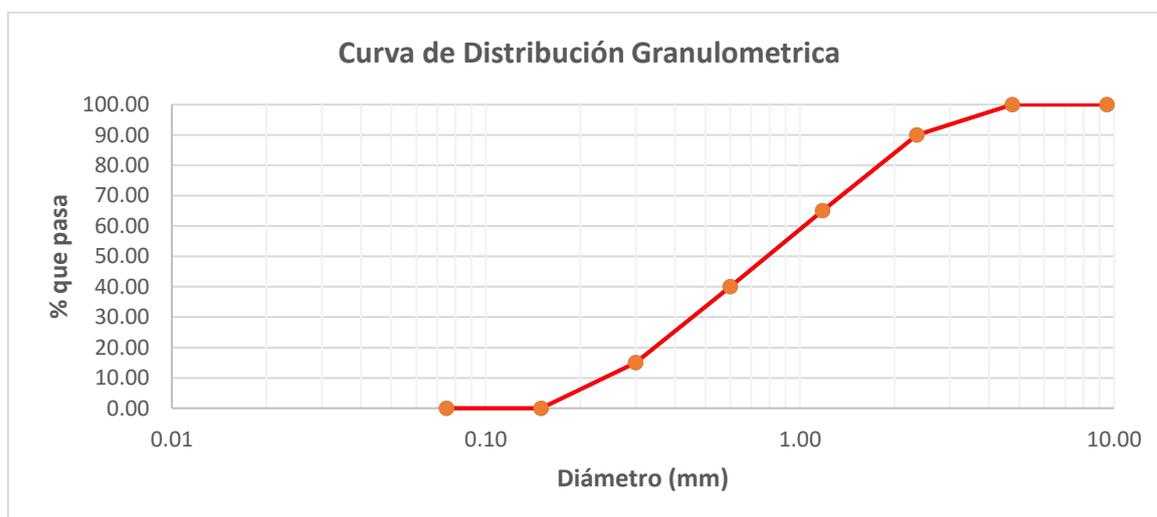


Gráfico 32. Requisito de gradación del agregado fino.

**Nota:**

Para el ensayo de barras de mortero el agregado fino de las 3 canteras se tuvo que gradar hasta que cumpla con los requisitos de gradación de la tabla N° 1 de la Norma ACTM 1260.

**PESOS ESPECÍFICOS Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM C 128 / NTP 400.022)**

**CANTERA: ROCA FUERTE (RIO CHONTA)**

**Tabla 42. Pesos específicos y absorción del agregado fino**

DESCRIPCIÓN	UND	E-1	E-2	E-3	PROMEDIO
Peso de la muestra saturada con superficie seca (S)	gr.	500.00	500.00	500.00	
Peso en el aire de la muestra secada al horno (W0)	gr.	492.40	493.00	493.00	
Volumen del frasco (V)	cm <sup>3</sup>	500.00	500.00	500.00	
Peso o volumen del agua añadida al frasco (Va)	gr ó cm <sup>3</sup>	310.00	311.00	310.00	
Peso específico de masa (Pem)	gr/cm <sup>3</sup>	2.59	2.61	2.60	<b>2.60</b>
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pemsss)	gr/cm <sup>3</sup>	2.63	2.65	2.63	<b>2.64</b>
Peso específico aparente (Pea)	gr/cm <sup>3</sup>	2.70	2.71	2.69	<b>2.70</b>
Absorción (Abs)	%	1.54	1.42	1.42	<b>1.46</b>

Fuente: Elaboración del tesista

**Tabla 43. Determinación del peso específico del agua.**

DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
Peso de fiola más agua	gr.	655	656	654	655
Peso de fiola	gr.	157	157	157	157
Peso del agua	gr.	498	499	497	498
Volumen de agua	cm <sup>3</sup>	500	500	500	500
Peso específico de agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.996	0.998	0.994	<b>0.996</b>

Fuente: Elaboración del tesista

## CANTERA DE CERRO: EL GAVILÁN

**Tabla 44. Pesos específicos y absorción del agregado fino**

DESCRIPCIÓN	UND	E-1	E-2	E-3	PROMEDIO
Peso de la muestra saturada con superficie seca (S)	gr.	500.00	500.00	500.00	
Peso en el aire de la muestra secada al horno (W0)	gr.	488.00	489.00	488.00	
Volumen del frasco (V)	cm3	500.00	500.00	500.00	
Peso o volumen del agua añadida al frasco (Va)	gr ó cm3	313.00	313.00	312.00	
Peso específico de masa (Pem)	gr/cm3	2.61	2.62	2.60	<b>2.61</b>
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pemsss)	gr/cm3	2.67	2.67	2.66	<b>2.67</b>
Peso específico aparente (Pea)	gr/cm3	2.79	2.78	2.77	<b>2.78</b>
Absorción (Abs)	%	2.46	2.25	2.46	<b>2.39</b>

Fuente: Elaboración del tesista

**Tabla 45. Determinación del peso específico del agua.**

DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
Peso de fiola más agua	gr.	655	656	654	655
Peso de fiola	gr.	157	157	157	157
Peso del agua	gr.	498	499	497	498
Volumen de agua	cm3	500	500	500	500
Peso específico de agua	gr/cm3	0.996	0.998	0.994	<b>0.996</b>

Fuente: Elaboración del tesista

## CANTERA CHAVEZ (RIO MASHCÓN)

**Tabla 46. Pesos específicos y absorción del agregado fino**

DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
Peso de la muestra saturada con superficie seca (S)	gr.	500.00	500.00	500.00	-
Peso en el aire de la muestra secada al horno (W0)	gr.	494.00	493.50	493.00	-
Volumen del frasco (V)	cm <sup>3</sup>	500.00	500.00	500.00	-
Peso o volumen del agua añadida al frasco (Va)	gr ó cm <sup>3</sup>	308.00	307.00	307.00	-
Peso específico de masa (Pem)	gr/cm <sup>3</sup>	2.56	2.55	2.56	<b>2.56</b>
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pemsss)	gr/cm <sup>3</sup>	2.60	2.59	2.59	<b>2.60</b>
Peso específico aparente (Pea)	gr/cm <sup>3</sup>	2.67	2.65	2.65	<b>2.66</b>
Absorción (Abs)	%	1.22	1.32	1.42	<b>1.32</b>

Fuente: Elaboración del tesista

**Tabla 47. Determinación del peso específico del agua.**

DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3	PROMEDIO
Peso de fiola más agua	gr.	655	656	654	<b>655</b>
Peso de fiola	gr.	157	157	157	<b>157</b>
Peso del agua	gr.	498	499	497	<b>498</b>
Volumen de agua	cm <sup>3</sup>	500	500	500	<b>500</b>
Peso específico de agua	gr/cm <sup>3</sup>	0.996	0.998	0.994	<b>0.996</b>

Fuente: Elaboración del tesista

Tabla 48. Calculo del factor f.

DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del molde más agua	gr.	7774	7776	7777	
Peso del molde	gr.	4750	4750	4750	
Peso del agua	gr.	3024	3026	3027	
Peso específico de agua	gr/cm3	0.996	0.996	0.996	
<b>Factor f</b>	<b>cm-3</b>	<b>0.000329</b>	<b>0.000329</b>	<b>0.000329</b>	<b>0.000329</b>

Fuente: Elaboración del tesista

**PESO UNITARIO SUELTO SECO DEL AGREGADO FINO. (ASTM C 128 / NTP 400.022)**

**CANTERA: ROCA FUERTE (RIO CHONTA)**

Tabla 49. Peso unitario suelto seco del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del molde más agregado	gr.	8535.00	8540.00	8535.00	
Peso del molde	gr.	3875.00	3875.00	3875.00	
Peso del agregado	gr.	4660.00	4665.00	4660.00	
Factor f	cm3	0.000329	0.000329	0.000329	
<b>Peso unitario suelto seco (Puss)</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>1.53</b>	<b>1.54</b>	<b>1.53</b>	<b>1.53</b>

Fuente: Elaboración del tesista

Tabla 50. Peso unitario suelto seco compactado del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del molde más agregado	gr.	9175.00	9175.00	9175.00	
Peso del molde	gr.	3875.00	3875.00	3875.00	
Peso del agregado	gr.	5300.00	5300.00	5300.00	
Factor f	cm-3	0.000329	0.000329	0.000329	
<b>Peso unitario suelto compactado</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>1.75</b>	<b>1.74</b>	<b>1.74</b>	<b>1.74</b>

## CANTERA DE CERRO: EL GAVILÁN

Tabla 51 Peso unitario suelto seco del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del molde más agregado	gr.	8920.00	8925.00	8930.00	
Peso del molde	gr.	3875.00	3875.00	3875.00	
Peso del agregado	gr.	5045.00	5050.00	5055.00	
Factor f	cm-3	0.000329	0.000329	0.000329	
<b>Peso unitario suelto seco (Puss)</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>1.66</b>	<b>1.66</b>	<b>1.66</b>	<b>1.66</b>

Fuente: Elaboración del tesista

Tabla 52. Peso unitario suelto seco compactado del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del molde más agregado	gr.	9530.00	9535.00	9530.00	
Peso del molde	gr.	3875.00	3875.00	3875.00	
Peso del agregado	gr.	5655.00	5660.00	5655.00	
Factor f	cm-3	0.000329	0.000329	0.000329	
<b>Peso unitario suelto compactado</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>1.86</b>	<b>1.86</b>	<b>1.86</b>	<b>1.86</b>

Fuente: Elaboración del tesista

## CANTERA CHAVEZ (RIO MASHCÓN)

Tabla 53. Peso unitario suelto seco del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del molde más agregado	gr.	8435.00	8540.00	8535.00	
Peso del molde	gr.	3875.00	3875.00	3875.00	
Peso del agregado	gr.	4560.00	4665.00	4660.00	
Factor f	cm3	0.000329	0.000329	0.000329	
<b>Peso unitario suelto seco (Puss)</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>1.50</b>	<b>1.54</b>	<b>1.53</b>	<b>1.52</b>

Fuente: Elaboración del tesista

Tabla 54. Peso unitario suelto seco compactado del agregado fino.

DESCRIPCIÓN	UND	M-1	M-2	M-3	PROMEDIO
Peso del molde más agregado	gr.	8995.00	9010.00	9010.00	
Peso del molde	gr.	3875.00	3875.00	3875.00	
Peso del agregado	gr.	5120.00	5135.00	5135.00	
Factor f	cm3	0.000329	0.000329	0.000329	
<b>Peso unitario suelto compactado</b>	<b>gr/cm3</b>	<b>1.69</b>	<b>1.69</b>	<b>1.69</b>	<b>1.69</b>

Fuente: Elaboración del tesista

## CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO.

### CANTERA: ROCA FUERTE (RIO CHONTA)

Tabla 55. Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Unidad	E-1°	E-2°	E-3°	Promedio
Peso muestra húmeda más recipiente	gr	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso muestra seca más recipiente	gr	485.00	486.50	485.00	485.50
Peso del agua evaporada	gr	15.00	13.50	15.00	14.50
Peso del recipiente	gr	180.00	180.00	180.00	180.00
Peso de la muestra seca	gr	305.00	306.50	305.00	305.50
<b>Contenido de humedad ( W % )</b>	<b>%</b>	<b>4.92</b>	<b>4.40</b>	<b>4.92</b>	<b>4.75</b>

Fuente: Elaboración del tesista

### CANTERA DE CERRO: EL GAVILÁN

Tabla 56. Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Unidad	E-1°	E-2°	E-3°	Promedio
Peso muestra húmeda más recipiente	gr	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso muestra seca más recipiente	gr	485.35	486.50	487.30	486.38
Peso del agua evaporada	gr	14.65	13.50	12.70	13.62
Peso del recipiente	gr	180.00	180.00	180.00	180.00
Peso de la muestra seca	gr	305.35	306.50	307.30	306.38
<b>Contenido de humedad ( W % )</b>	<b>%</b>	<b>4.80</b>	<b>4.40</b>	<b>4.13</b>	<b>4.45</b>

Fuente: Elaboración del tesista

## CANTERA CHAVEZ (RIO MASHCÓN)

Tabla 57. Contenido de humedad del agregado fino.

Descripción	Unidad	E-1°	E-2°	E-3°	Promedio
Peso muestra húmeda más recipiente	gr	500.00	500.00	500.00	500.00
Peso muestra seca más recipiente	gr	490.00	490.50	490.50	490.33
Peso del agua evaporada	gr	10.00	9.50	9.50	9.67
Peso del recipiente	gr	180.00	180.00	180.00	180.00
Peso de la muestra seca	gr	310.00	310.50	310.50	310.33
<b>Contenido de humedad ( W % )</b>	<b>%</b>	<b>3.23</b>	<b>3.06</b>	<b>3.06</b>	<b>3.11</b>

Fuente: Elaboración del tesista

## RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO FINO

### CANTERA: ROCA FUERTE (RIO CHONTA)

Tabla 58. Resumen de las características del agregado fino.

DESCRIPCIÓN		UND
Peso específico de masa (Pem)	2.60	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pemsss)	2.64	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente (Pea)	2.70	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto seco (Puss)	1.53	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado (Pusc)	1.74	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción (Abs)	1.46	%
Humedad natural	2.86	%
Módulo de finura	3.67	

Fuente: Elaboración del tesista

### CANTERA DE CERRO: EL GAVILÁN

Tabla 59. Resumen de las características del agregado fino.

DESCRIPCIÓN		UND
Peso específico de masa (Pem)	2.61	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pemsss)	2.67	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente (Pea)	2.78	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto seco (Puss)	1.66	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado (Pusc)	1.86	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción (Abs)	2.39	%
Humedad natural	5.30	%
Módulo de finura	2.97	

Fuente: Elaboración del tesista.

### CANTERA CHAVEZ (RIO MASHCÓN)

Tabla 60. Resumen de las características del agregado fino.

DESCRIPCIÓN		UND
Peso específico de masa (Pem)	2.56	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa saturada con superficie seca (Pemsss)	2.60	gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente (Pea)	2.66	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario suelto seco (Puss)	1.52	gr/cm <sup>3</sup>
Peso unitario seco compactado (Pusc)	1.69	gr/cm <sup>3</sup>
Absorción (Abs)	1.32	%
Humedad natural	7.30	%
Módulo de finura	3.45	

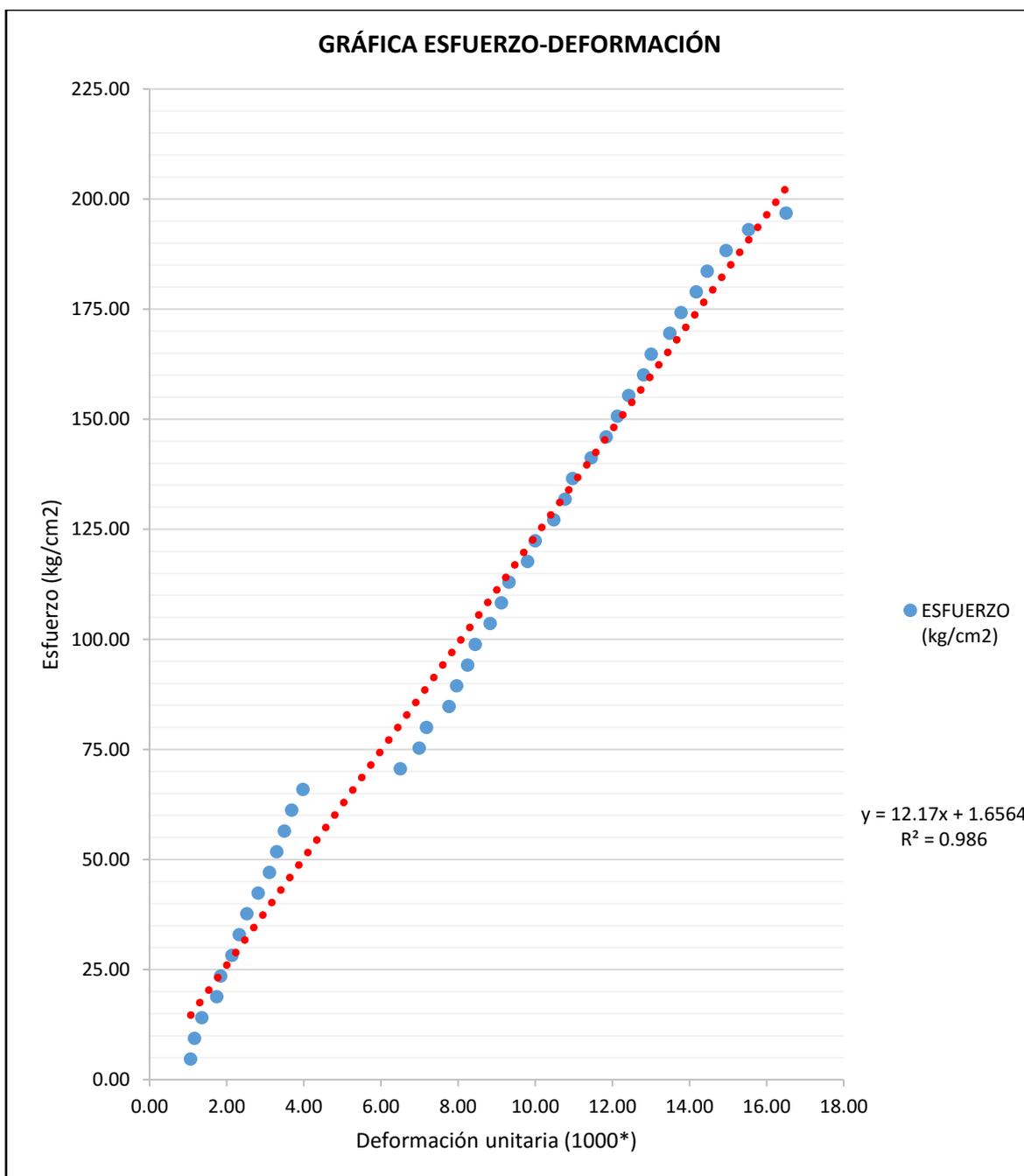
Fuente: Elaboración del tesista

## ESFUERZO Y DEFORMACIÓN UNITARIO DEL ENSAYO DE COMPRESION

Tabla 61. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Chonta a los 7 días. Muestra 3

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )
100	0.11	1.07	4.71
200	0.12	1.17	9.42
300	0.14	1.36	14.13
400	0.18	1.75	18.83
500	0.19	1.84	23.54
800	0.26	2.52	37.67
900	0.29	2.82	42.38
<b>1000</b>	0.32	3.11	47.09
1100	0.34	3.30	51.80
1200	0.36	3.50	56.50
1300	0.38	3.69	61.21
1400	0.41	3.98	65.92
1500	0.67	6.50	70.63
1600	0.72	6.99	75.34
1700	0.74	7.18	80.05
1800	0.8	7.77	84.76
1900	0.82	7.96	89.47
<b>2000</b>	0.85	8.25	94.17
2100	0.87	8.45	98.88
2200	0.91	8.83	103.59
2400	0.96	9.32	113.01
2500	1.01	9.81	117.72
2600	1.03	10.00	122.43
2700	1.08	10.49	127.14
2800	1.11	10.78	131.84
2900	1.13	10.97	136.55
<b>3000</b>	1.18	11.46	141.26
3100	1.22	11.84	145.97
3200	1.25	12.14	150.68
3300	1.28	12.43	155.39
3400	1.32	12.82	160.10
3500	1.34	13.01	164.81
3600	1.39	13.50	169.51
3700	1.42	13.79	174.22
3800	1.46	14.17	178.93
3900	1.49	14.47	183.64
4000	1.54	14.95	188.35
4100	1.6	15.53	193.06
<b>4180</b>	<b>1.7</b>	<b>16.50</b>	<b>196.82</b>

Gráfico 32. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera río Chonta.  
Muestra 3

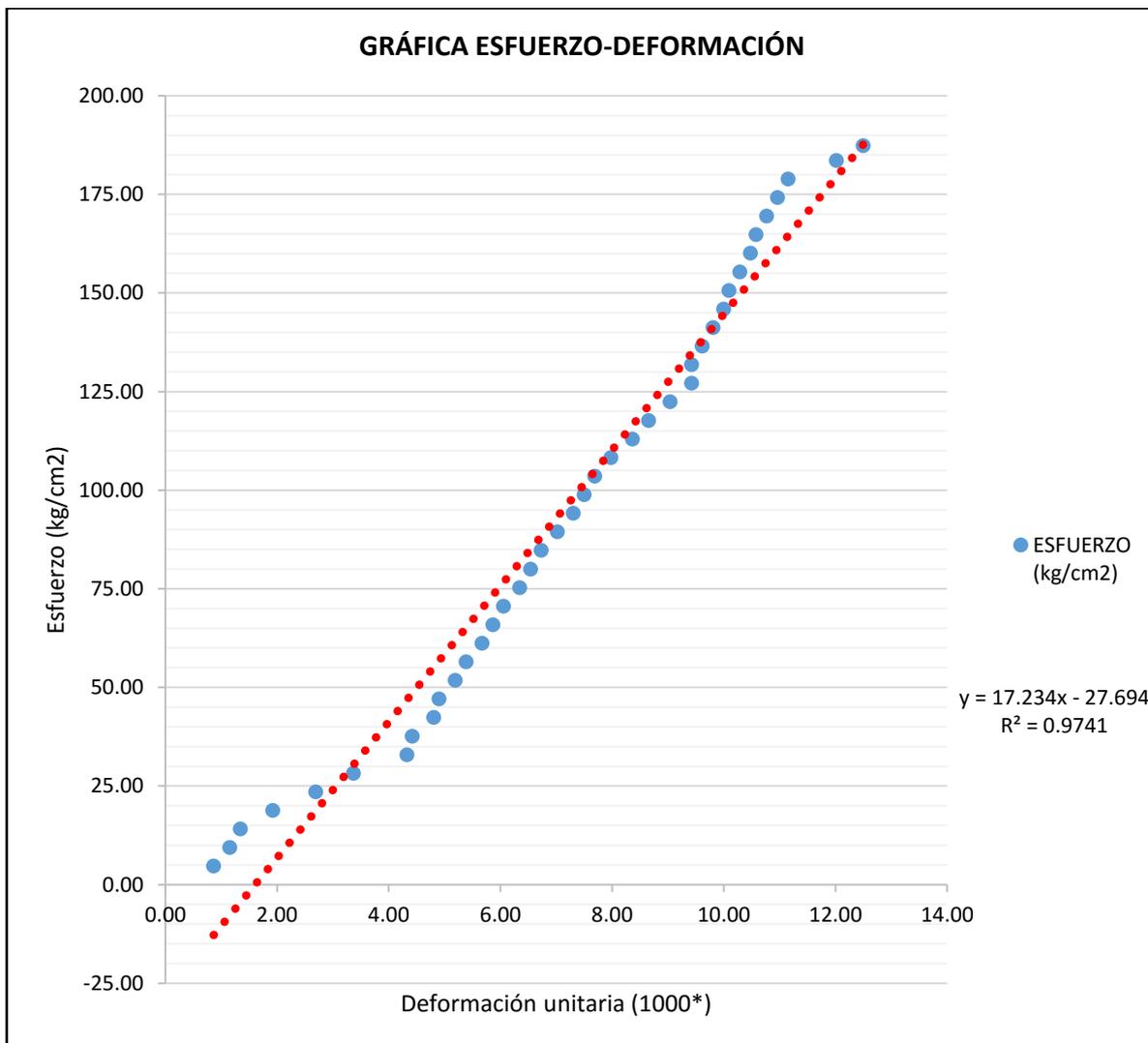


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 12.17x + 1.6564$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.986$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>):</b>	196.82
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	210441.4565

Tabla 62. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Chonta a los 7 días. Muestra 5

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )
100	0.09	0.87	4.71
200	0.12	1.15	9.42
300	0.14	1.35	14.13
400	0.2	1.92	18.83
500	0.28	2.69	23.54
600	0.35	3.37	28.25
700	0.45	4.33	32.96
800	0.46	4.42	37.67
900	0.5	4.81	42.38
<b>1000</b>	0.51	4.90	47.09
1100	0.54	5.19	51.80
1200	0.56	5.38	56.50
1300	0.59	5.67	61.21
1400	0.61	5.87	65.92
1500	0.63	6.06	70.63
1600	0.66	6.35	75.34
1700	0.68	6.54	80.05
1800	0.7	6.73	84.76
1900	0.73	7.02	89.47
<b>2000</b>	0.76	7.31	94.17
2100	0.78	7.50	98.88
2200	0.8	7.69	103.59
2300	0.83	7.98	108.30
2400	0.87	8.37	113.01
2500	0.9	8.65	117.72
2600	0.94	9.04	122.43
2700	0.98	9.42	127.14
2800	0.98	9.42	131.84
2900	1	9.62	136.55
<b>3000</b>	1.02	9.81	141.26
3100	1.04	10.00	145.97
3200	1.05	10.10	150.68
3300	1.07	10.29	155.39
3400	1.09	10.48	160.10
3500	1.1	10.58	164.81
3600	1.12	10.77	169.51
3700	1.14	10.96	174.22
3800	1.16	11.15	178.93
3900	1.25	12.02	183.64
<b>3980</b>	<b>1.3</b>	<b>12.50</b>	<b>187.41</b>

Gráfico 33. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera río Chonta.  
Muestra 5

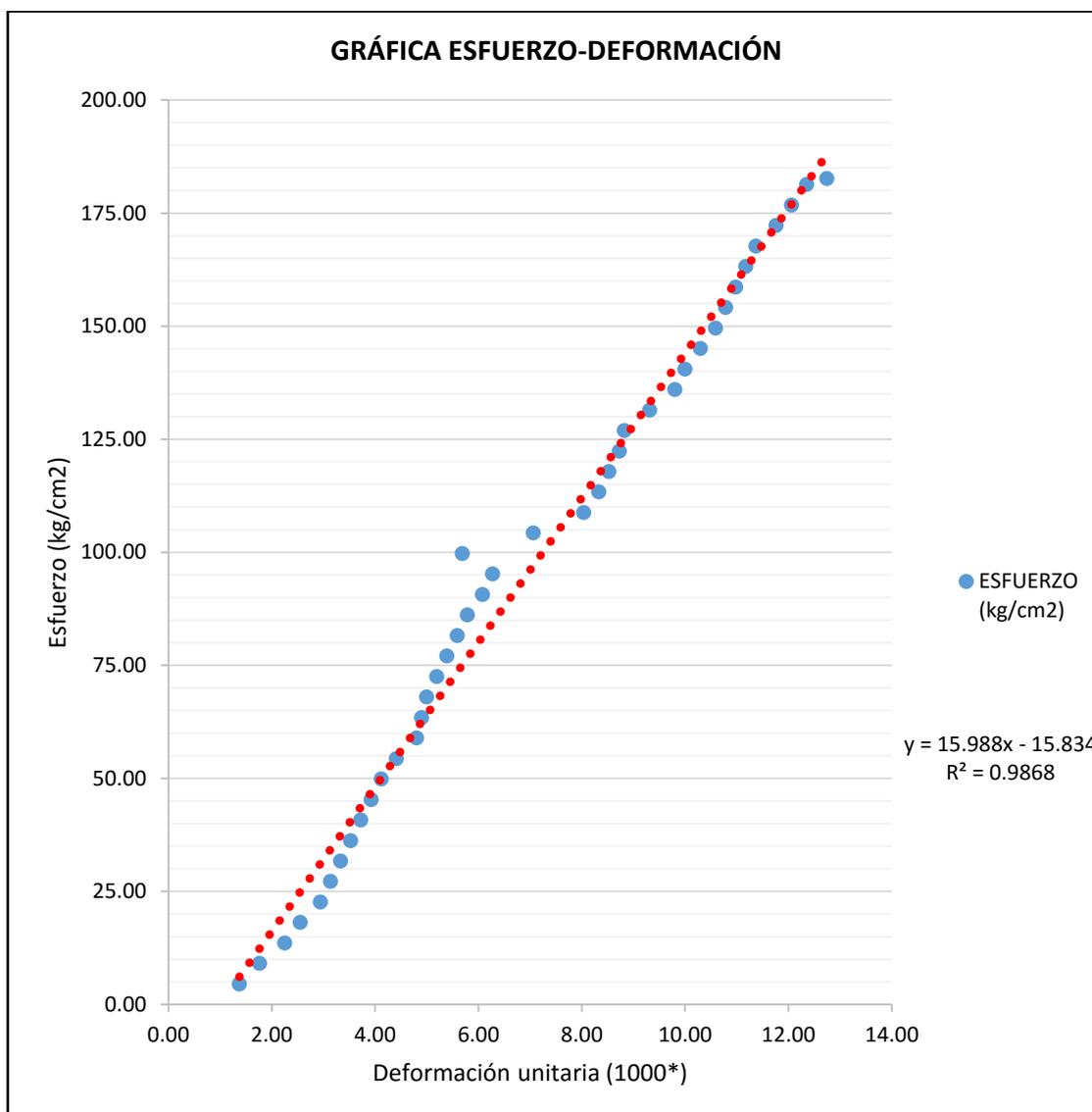


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 17.234x - 27.694$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.9741$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>):</b>	187.41
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	205345.2655

Tabla 63. Deformación unitaria de las probetas con agregado del El Gavilán a los 7 días. Muestra 1

<b>CARGA (kg)</b>	<b>DEF. (mm)</b>	<b>DEF. UNIT. (*1000)</b>	<b>ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
100	0.14	1.37	4.53
200	0.18	1.76	9.07
300	0.23	2.25	13.60
400	0.26	2.55	18.13
500	0.3	2.94	22.66
600	0.32	3.14	27.20
700	0.34	3.33	31.73
800	0.36	3.53	36.26
900	0.38	3.73	40.79
<b>1000</b>	0.4	3.92	45.33
1100	0.42	4.12	49.86
1200	0.45	4.41	54.39
1300	0.49	4.80	58.93
1400	0.5	4.90	63.46
1500	0.51	5.00	67.99
1600	0.53	5.20	72.52
1700	0.55	5.39	77.06
1800	0.57	5.59	81.59
1900	0.59	5.78	86.12
<b>2000</b>	0.62	6.08	90.65
2100	0.64	6.27	95.19
2200	0.58	5.69	99.72
2300	0.72	7.06	104.25
2400	0.82	8.04	108.79
2500	0.85	8.33	113.32
2600	0.87	8.53	117.85
2700	0.89	8.73	122.38
2800	0.9	8.82	126.92
2900	0.95	9.31	131.45
<b>3000</b>	1	9.80	135.98
3100	1.02	10.00	140.51
3200	1.05	10.29	145.05
3300	1.08	10.59	149.58
3400	1.1	10.78	154.11
3500	1.12	10.98	158.65
3600	1.14	11.18	163.18
3700	1.16	11.37	167.71
3800	1.2	11.76	172.24
3900	1.23	12.06	176.78
4000	1.26	12.35	181.31
<b>4030</b>	<b>1.3</b>	<b>12.75</b>	<b>182.67</b>

Gráfico 34. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera El Gavilán.  
Muestra 1

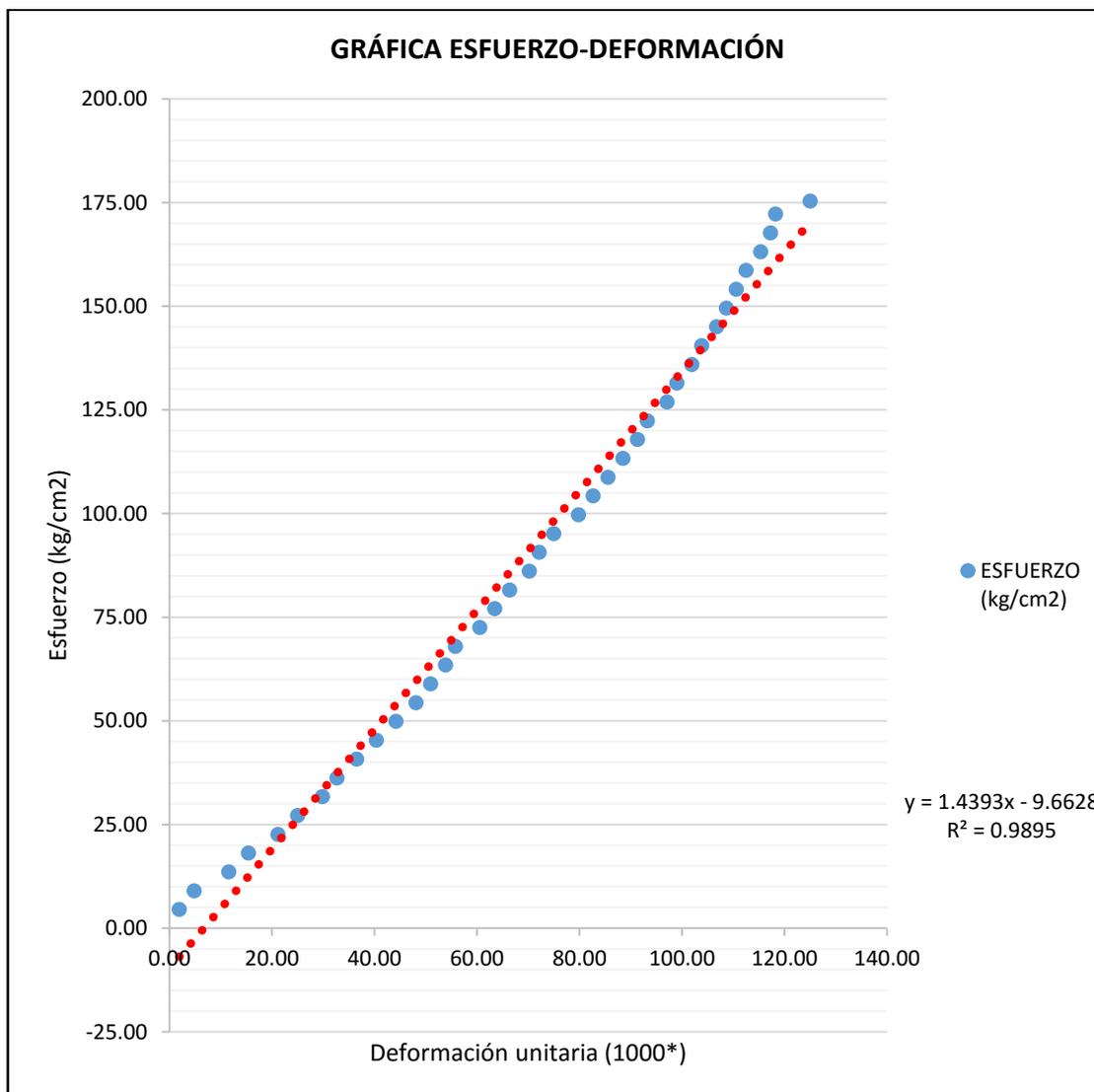


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	Y=15.988x - 15.834
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	R2=0.9868
<b>ESF. ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>):</b>	182.67
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	202732.397

Tabla 64. Deformación unitaria de las probetas con agregado del El Gavilán a los 7 días. Muestra 6

<b>CARGA (kg)</b>	<b>DEF. (mm)</b>	<b>DEF. UNIT. (*1000)</b>	<b>ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
100	0.02	1.92	4.53
200	0.05	4.81	9.07
300	0.12	11.54	13.60
400	0.16	15.38	18.13
500	0.22	21.15	22.66
600	0.26	25.00	27.20
700	0.31	29.81	31.73
800	0.34	32.69	36.26
900	0.38	36.54	40.79
<b>1000</b>	0.42	40.38	45.33
1100	0.46	44.23	49.86
1200	0.5	48.08	54.39
1300	0.53	50.96	58.93
1400	0.56	53.85	63.46
1500	0.58	55.77	67.99
1600	0.63	60.58	72.52
1700	0.66	63.46	77.06
1800	0.69	66.35	81.59
1900	0.73	70.19	86.12
<b>2000</b>	0.75	72.12	90.65
2100	0.78	75.00	95.19
2200	0.83	79.81	99.72
2300	0.86	82.69	104.25
2400	0.89	85.58	108.79
2500	0.92	88.46	113.32
2600	0.95	91.35	117.85
2700	0.97	93.27	122.38
2800	1.01	97.12	126.92
2900	1.03	99.04	131.45
<b>3000</b>	1.06	101.92	135.98
3100	1.08	103.85	140.51
3200	1.11	106.73	145.05
3300	1.13	108.65	149.58
3400	1.15	110.58	154.11
3500	1.17	112.50	158.65
3600	1.2	115.38	163.18
3700	1.22	117.31	167.71
3800	1.23	118.27	172.24
<b>3870</b>	<b>1.3</b>	<b>125.00</b>	<b>175.42</b>

Gráfico 36. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera El Gavilán.  
Muestra 6

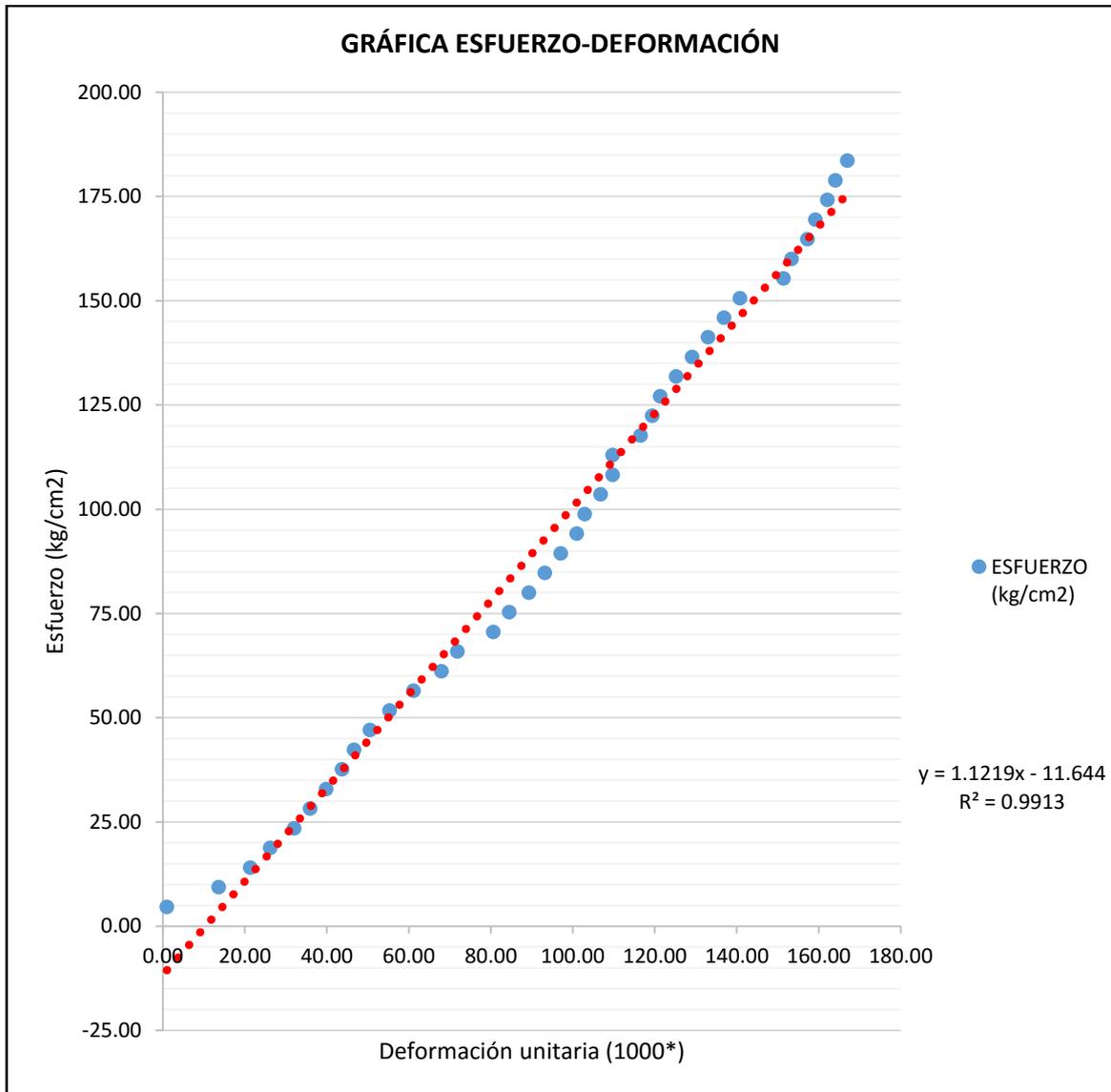


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 1.4393x - 9.6628$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.9895$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>):</b>	175.42
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	198667.1743

Tabla 65. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Mashcón a los 7 días. Muestra 2

CARGA (kg)	DEF. (mm)	DEF. UNIT. (*1000)	ESFUERZO (kg/cm <sup>2</sup> )
100	0.01	0.97	4.71
200	0.14	13.59	9.42
300	0.22	21.36	14.13
400	0.27	26.21	18.83
500	0.33	32.04	23.54
600	0.37	35.92	28.25
700	0.41	39.81	32.96
800	0.45	43.69	37.67
900	0.48	46.60	42.38
<b>1000</b>	0.52	50.49	47.09
1100	0.57	55.34	51.80
1200	0.63	61.17	56.50
1300	0.7	67.96	61.21
1400	0.74	71.84	65.92
1500	0.83	80.58	70.63
1600	0.87	84.47	75.34
1700	0.92	89.32	80.05
1800	0.96	93.20	84.76
1900	1	97.09	89.47
<b>2000</b>	1.04	100.97	94.17
2100	1.06	102.91	98.88
2200	1.1	106.80	103.59
2300	1.13	109.71	108.30
2400	1.13	109.71	113.01
2500	1.2	116.50	117.72
2600	1.23	119.42	122.43
2700	1.25	121.36	127.14
2800	1.29	125.24	131.84
2900	1.33	129.13	136.55
<b>3000</b>	1.37	133.01	141.26
3100	1.41	136.89	145.97
3200	1.45	140.78	150.68
3300	1.56	151.46	155.39
3400	1.58	153.40	160.10
3500	1.62	157.28	164.81
3600	1.64	159.22	169.51
3700	1.67	162.14	174.22
3800	1.69	164.08	178.93
<b>3900</b>	<b>1.72</b>	<b>166.99</b>	<b>183.64</b>

Gráfico 37. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera río Mashcón.  
Muestra 2

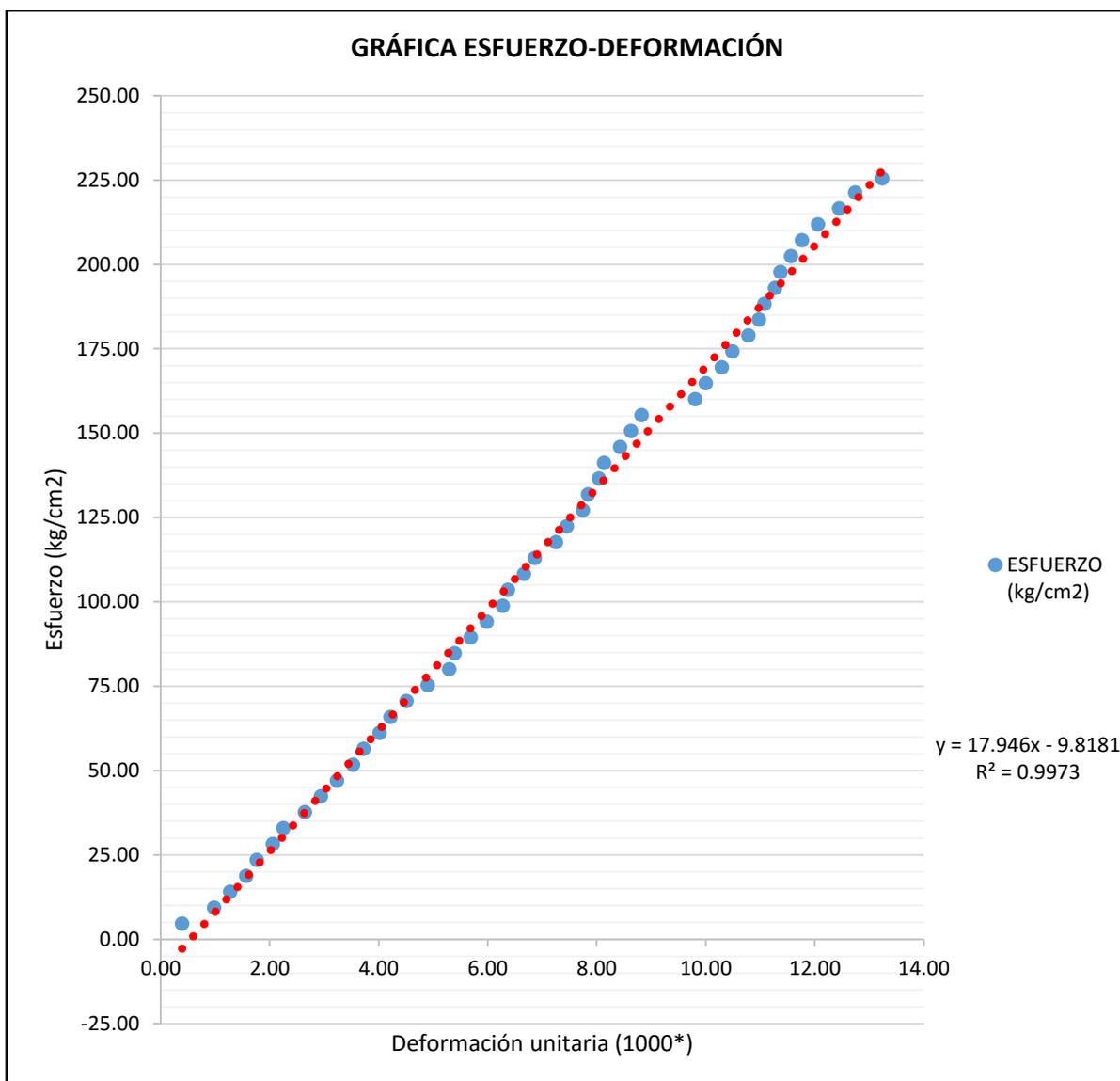


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 1.1219x - 11.644$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.9913$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>):</b>	183.64
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	203271.0178

Tabla 66. Deformación unitaria de las probetas con agregado del río Chonta a los 14 días. Muestra 2

<b>CARGA (kg)</b>	<b>DEF. (mm)</b>	<b>DEF. UNIT. (*1000)</b>	<b>ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
100	0.04	0.39	4.71
200	0.10	0.98	9.42
300	0.13	1.27	14.13
400	0.16	1.57	18.83
500	0.18	1.76	23.54
800	0.27	2.65	37.67
900	0.30	2.94	42.38
<b>1000</b>	0.33	3.24	47.09
1100	0.36	3.53	51.80
1200	0.38	3.73	56.50
1500	0.46	4.51	70.63
1600	0.50	4.90	75.34
1700	0.54	5.29	80.05
1800	0.55	5.39	84.76
1900	0.58	5.69	89.47
<b>2000</b>	0.61	5.98	94.17
2100	0.64	6.27	98.88
2200	0.65	6.37	103.59
2300	0.68	6.67	108.30
2400	0.70	6.86	113.01
2500	0.74	7.25	117.72
2600	0.76	7.45	122.43
2700	0.79	7.75	127.14
2800	0.80	7.84	131.84
2900	0.82	8.04	136.55
<b>3000</b>	0.83	8.14	141.26
3100	0.86	8.43	145.97
3400	1.00	9.80	160.10
3500	1.02	10.00	164.81
3600	1.05	10.29	169.51
3700	1.07	10.49	174.22
3800	1.10	10.78	178.93
3900	1.12	10.98	183.64
4000	1.13	11.08	188.35
4100	1.15	11.27	193.06
4200	1.16	11.37	197.77
4300	1.18	11.57	202.48
4400	1.20	11.76	207.18
4500	1.23	12.06	211.89
4600	1.27	12.45	216.60
4700	1.30	12.75	221.31
<b>4790</b>	1.35	<b>13.24</b>	<b>225.55</b>

Gráfico 38. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria cantera río Chonta. A los 14 días. Muestra 2

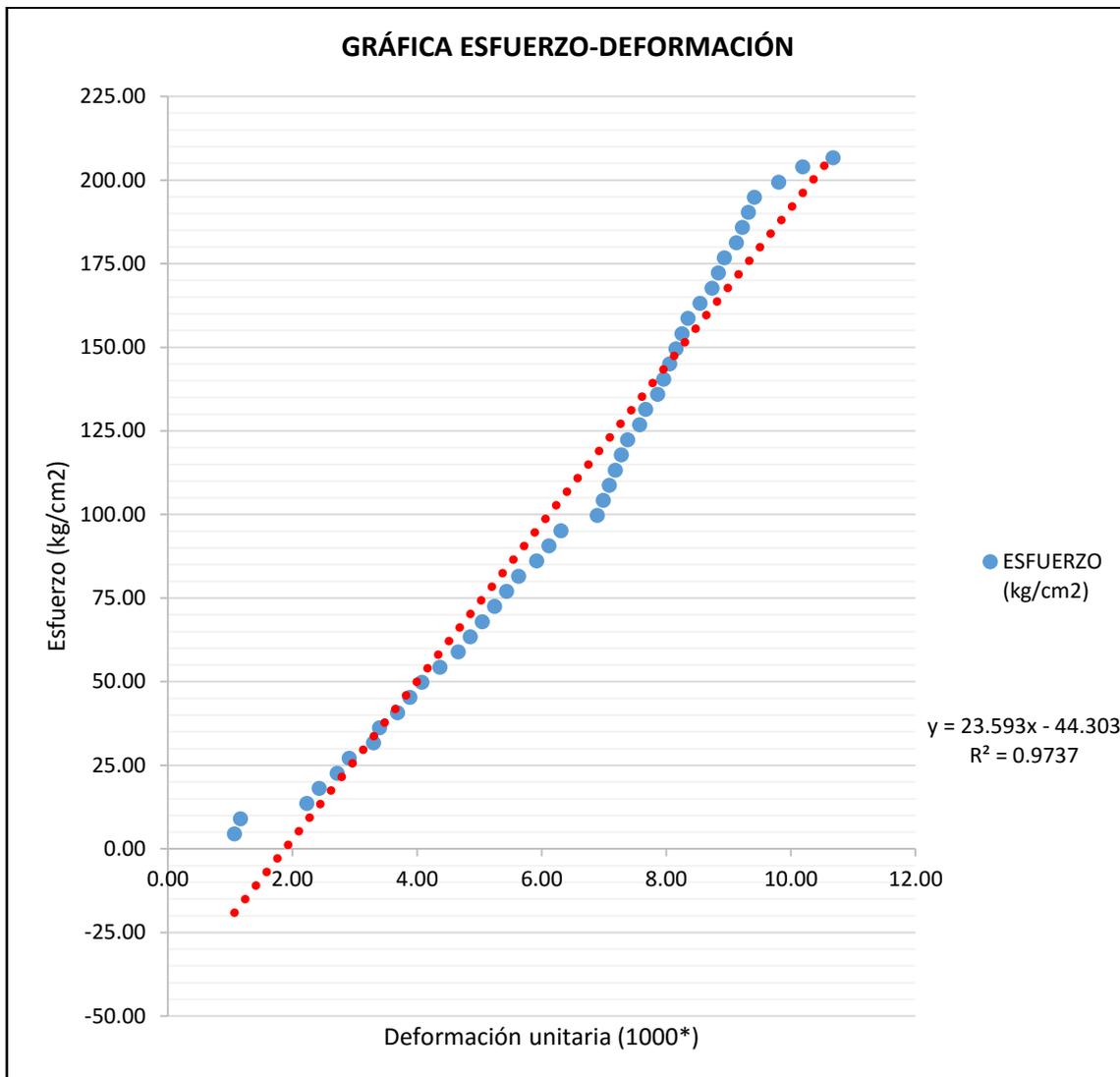


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 17.946x - 9.8181$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.9973$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>):</b>	225.55
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	225273.9193

Tabla 67. Deformación unitaria de las probetas con agregado de El Gavilán a los 14 días. Muestra 1

<b>CARGA (kg)</b>	<b>DEF. (mm)</b>	<b>DEF. UNIT. (*1000)</b>	<b>ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
100	0.11	1.07	4.53
200	0.12	1.17	9.07
300	0.23	2.23	13.60
400	0.25	2.43	18.13
500	0.28	2.72	22.66
600	0.3	2.91	27.20
700	0.34	3.30	31.73
800	0.35	3.40	36.26
900	0.38	3.69	40.79
<b>1000</b>	0.4	3.88	45.33
1100	0.42	4.08	49.86
1200	0.45	4.37	54.39
1300	0.48	4.66	58.93
1600	0.54	5.24	72.52
1700	0.56	5.44	77.06
1800	0.58	5.63	81.59
1900	0.61	5.92	86.12
<b>2000</b>	0.63	6.12	90.65
2100	0.65	6.31	95.19
2200	0.71	6.89	99.72
2300	0.72	6.99	104.25
2400	0.73	7.09	108.79
2500	0.74	7.18	113.32
2600	0.75	7.28	117.85
2700	0.76	7.38	122.38
2800	0.78	7.57	126.92
2900	0.79	7.67	131.45
<b>3000</b>	0.81	7.86	135.98
3100	0.82	7.96	140.51
3400	0.85	8.25	154.11
3500	0.86	8.35	158.65
3600	0.88	8.54	163.18
3700	0.9	8.74	167.71
3800	0.91	8.83	172.24
3900	0.92	8.93	176.78
4000	0.94	9.13	181.31
4100	0.95	9.22	185.84
4200	0.96	9.32	190.37
4300	0.97	9.42	194.91
4400	1.01	9.81	199.44
4500	1.05	10.19	203.97
<b>4560</b>	<b>1.1</b>	<b>10.68</b>	<b>206.69</b>

Gráfico 39. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria agregado El Gavilán. A los 14 días. Muestra 1.

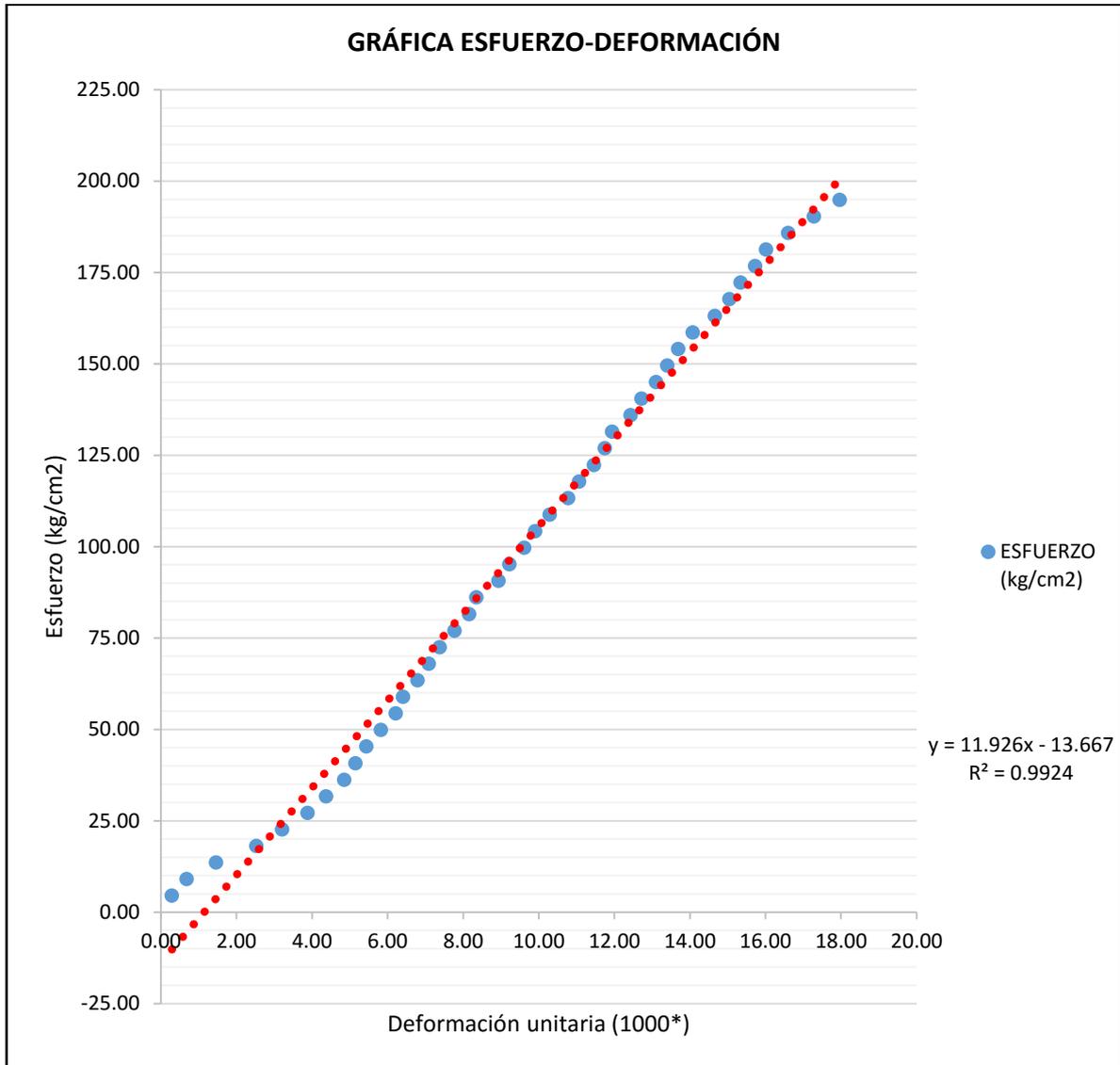


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 23.593x - 44.303$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.9737$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm²):</b>	206.69
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	215651.7831

Tabla 68. Deformación unitaria de las probetas con agregado de río Mashcón a los 14 días. Muestra 4.

<b>CARGA (kg)</b>	<b>DEF. (mm)</b>	<b>DEF. UNIT. (*1000)</b>	<b>ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
100	0.03	0.29	4.53
200	0.07	0.68	9.07
300	0.15	1.46	13.60
400	0.26	2.52	18.13
500	0.33	3.20	22.66
600	0.4	3.88	27.20
700	0.45	4.37	31.73
800	0.5	4.85	36.26
900	0.53	5.15	40.79
<b>1000</b>	0.56	5.44	45.33
1100	0.6	5.83	49.86
1200	0.64	6.21	54.39
1300	0.66	6.41	58.93
1400	0.7	6.80	63.46
1500	0.73	7.09	67.99
1600	0.76	7.38	72.52
1700	0.8	7.77	77.06
1800	0.84	8.16	81.59
1900	0.86	8.35	86.12
<b>2000</b>	0.92	8.93	90.65
2100	0.95	9.22	95.19
2200	0.99	9.61	99.72
2300	1.02	9.90	104.25
2400	1.06	10.29	108.79
2500	1.11	10.78	113.32
2600	1.14	11.07	117.85
2900	1.23	11.94	131.45
<b>3000</b>	1.28	12.43	135.98
3100	1.31	12.72	140.51
3200	1.35	13.11	145.05
3300	1.38	13.40	149.58
3400	1.41	13.69	154.11
3500	1.45	14.08	158.65
3600	1.51	14.66	163.18
3700	1.55	15.05	167.71
3800	1.58	15.34	172.24
3900	1.62	15.73	176.78
4000	1.65	16.02	181.31
4100	1.71	16.60	185.84
4200	1.78	17.28	190.37
<b>4300</b>	<b>1.85</b>	<b>17.96</b>	<b>194.91</b>

Gráfico 40. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria agregado del río Mashcón.  
A los 14 días. Muestra 4.

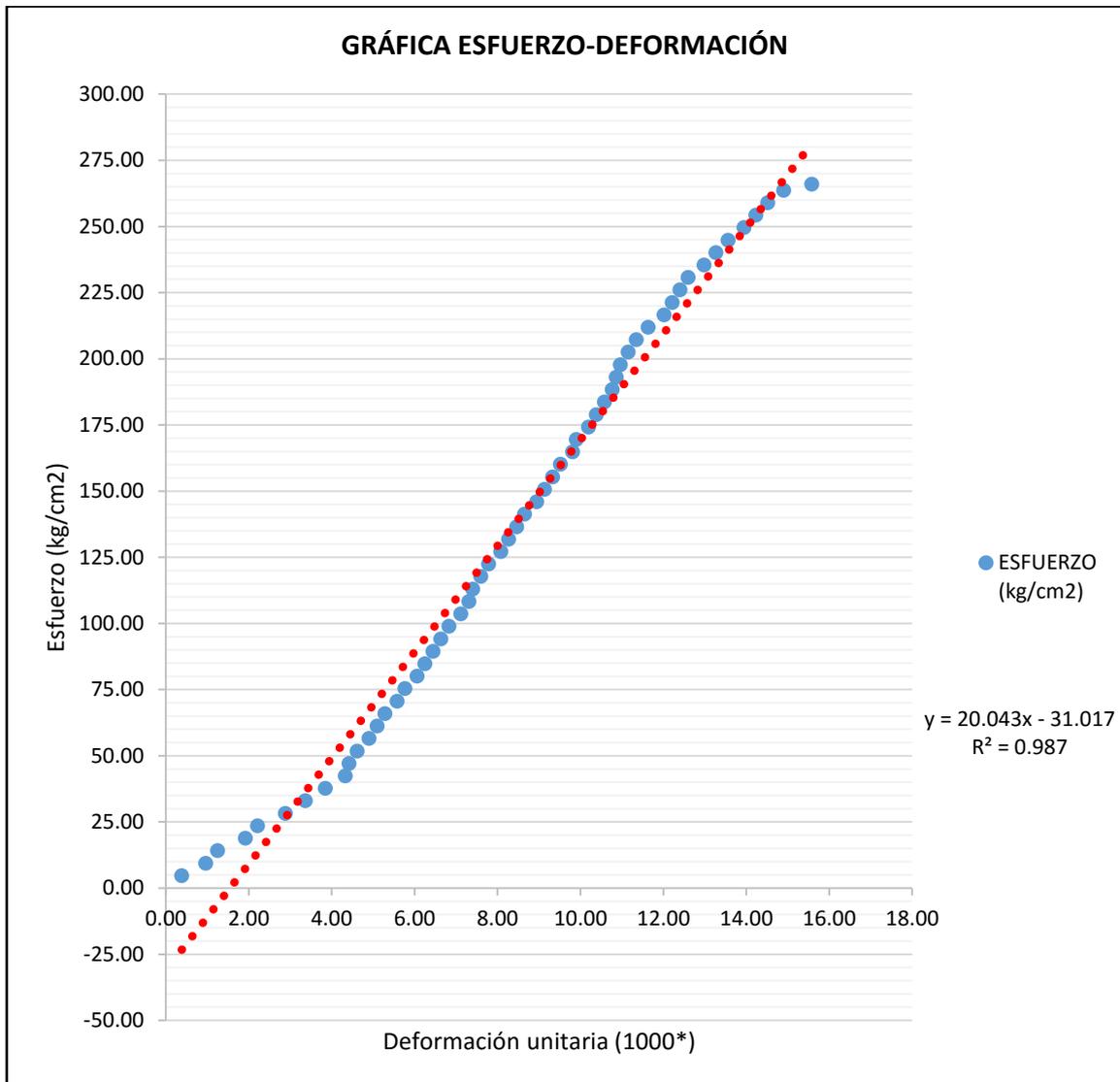


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 11.926x - 13.667$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.9924$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm²):</b>	194.91
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	209413.589

Tabla 69. Deformación unitaria de las probetas con agregado de río Chonta a los 30 días. Muestra 1.

<b>CARGA (kg)</b>	<b>DEF. (mm)</b>	<b>DEF. UNIT. (*1000)</b>	<b>ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
100	0.04	0.38	4.71
200	0.1	0.96	9.42
300	0.13	1.25	14.13
400	0.2	1.92	18.83
500	0.23	2.21	23.54
600	0.3	2.88	28.25
700	0.35	3.37	32.96
800	0.4	3.85	37.67
900	0.45	4.33	42.38
<b>1000</b>	0.46	4.42	47.09
1100	0.48	4.62	51.80
1200	0.51	4.90	56.50
1500	0.58	5.58	70.63
1600	0.6	5.77	75.34
1700	0.63	6.06	80.05
1800	0.65	6.25	84.76
1900	0.67	6.44	89.47
<b>2000</b>	0.69	6.63	94.17
2100	0.71	6.83	98.88
2400	0.77	7.40	113.01
2600	0.81	7.79	122.43
2700	0.84	8.08	127.14
2800	0.86	8.27	131.84
2900	0.88	8.46	136.55
<b>3000</b>	0.9	8.65	141.26
3100	0.93	8.94	145.97
3700	1.06	10.19	174.22
3800	1.08	10.38	178.93
3900	1.1	10.58	183.64
4400	1.18	11.35	207.18
4500	1.21	11.63	211.89
4600	1.25	12.02	216.60
4900	1.31	12.60	230.73
5000	1.35	12.98	235.44
5100	1.38	13.27	240.15
5200	1.41	13.56	244.85
5300	1.45	13.94	249.56
5400	1.48	14.23	254.27
5500	1.51	14.52	258.98
5600	1.55	14.90	263.69
<b>5650</b>	<b>1.62</b>	<b>15.58</b>	<b>266.04</b>

Gráfico 41. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria agregado del río Chonta. A los 30 días. Muestra 1.

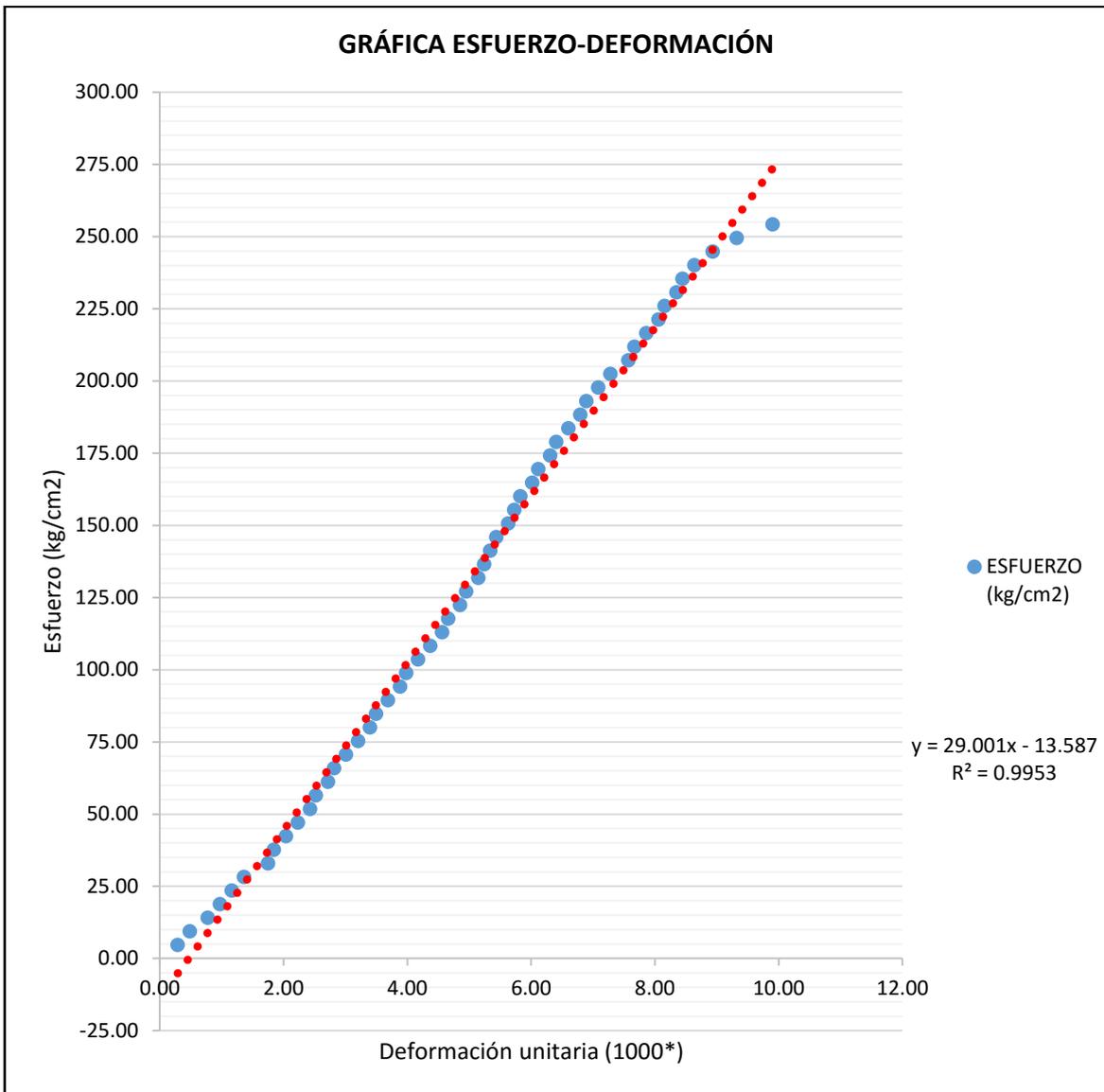


<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 20.043x - 31.017$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.987$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>):</b>	266.04
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	244662.4848

Tabla 70. Deformación unitaria de las probetas con agregado de El Gavilán a los 30 días. Muestra 5.

<b>CARGA (kg)</b>	<b>DEF. (mm)</b>	<b>DEF. UNIT. (*1000)</b>	<b>ESFUERZO (kg/cm<sup>2</sup>)</b>
100	0.03	0.29	4.71
200	0.05	0.49	9.42
300	0.08	0.78	14.13
400	0.1	0.97	18.83
500	0.12	1.17	23.54
600	0.14	1.36	28.25
800	0.19	1.84	37.67
900	0.21	2.04	42.38
<b>1000</b>	0.23	2.23	47.09
1100	0.25	2.43	51.80
1200	0.26	2.52	56.50
1500	0.31	3.01	70.63
1600	0.33	3.20	75.34
1800	0.36	3.50	84.76
1900	0.38	3.69	89.47
<b>2000</b>	0.4	3.88	94.17
2100	0.41	3.98	98.88
2200	0.43	4.17	103.59
2600	0.5	4.85	122.43
2700	0.51	4.95	127.14
2800	0.53	5.15	131.84
2900	0.54	5.24	136.55
<b>3000</b>	0.55	5.34	141.26
3100	0.56	5.44	145.97
3200	0.58	5.63	150.68
3300	0.59	5.73	155.39
3600	0.63	6.12	169.51
3700	0.65	6.31	174.22
4000	0.7	6.80	188.35
4100	0.71	6.89	193.06
4200	0.73	7.09	197.77
4600	0.81	7.86	216.60
4700	0.83	8.06	221.31
4800	0.84	8.16	226.02
4900	0.86	8.35	230.73
5000	0.87	8.45	235.44
5100	0.89	8.64	240.15
5200	0.92	8.93	244.85
5300	0.96	9.32	249.56
5400	1.02	9.90	254.27
<b>5490</b>	<b>1.08</b>	<b>10.49</b>	<b>258.51</b>

Gráfico 42. Diagrama esfuerzo vs deformación unitaria agregado de la cantera El Gavilán. A los 30 días. Muestra 5.



<b>ECUACIÓN (ESFUERZO):</b>	$y = 29.001x - 13.587$
<b>COEF. CORRELACIÓN:</b>	$R^2=0.9953$
<b>ESF. ROTURA (kg/cm<sup>2</sup>):</b>	258.51
<b>MÓD. DE ELASTICIDAD:</b>	241173.358

## PANEL FOTOGRÁFICO



Figura 45. Ensayo granulométrico del agregado fino.



Figura 46. Ensayo Peso específico del agregado fino



Figura 47. Gradación del material según la norma ASTM 1260



Figura 48. Barras de mortero desencofradas



Figura 49. Almacenaje en horno a temperatura 80°C



Figura 50. Lecturas de las barras de mortero a los 5 días



Figura 51. Lecturas de las barras de mortero a los 14 días



Figura 52. Presencia de fisuras en las barras de mortero a los 11, 14 días.



Figura 53. Presencia de curvaturas de la probeta a los 14 días.



Figura 54. Ensayo de compresión del mortero.



Figura 55. Rotura de probetas probadas para compresión.



## CERTIFICADO DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES

*Universidad Nacional de Cajamarca*

*"Norte de la Universidad Peruana"*

Fundada por ley 14015 del 13 de febrero de 1962

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES**



EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

### CERTIFICA

Que el bachiller en Ingeniería Civil **DÍAZ TELLO, Otto Anderson** identificado con código ARN N° 2019100035, ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha registrado su asistencia a este laboratorio entre el periodo de Agosto del 2016 a Noviembre del 2016, dicho alumno ha realizado durante este periodo los ensayos necesarios para el desarrollo de la tesis titulada "ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA REACTIVIDAD ÁLCALI SÍLICE DE LOS AGREGADOS EN LA DURABILIDAD DEL CONCRETO  $f_c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup> SEGÚN LA NORMA ASTM C-1260 EVALUADO EN CANTERAS DE CAJAMARCA", dichos resultados obran en este laboratorio para las consultas necesarias.

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que crea convenientes.



Cajamarca, Enero del 2017

## **CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de agregados (Método de la barra del mortero)**

CEMENT. Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (Mortar-bar method)

Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI está basada en la Norma ASTM C 1260:2007 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method), Derecho de autor de ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International

**2011-12-29**

**2ª Edición**

## INDICE

	<b>página</b>
INDICE	i
PREFACIO	ii
1. OBJETO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. CAMPO DE APLICACIÓN	3
4. DEFINICIONES	4
5. APARATOS	5
6. REACTIVOS	6
7. ACONDICIONAMIENTO	6
8. MUESTREO Y PREPARACION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO	7
9. PROCEDIMIENTO	10
10. CÁLCULOS	11
11. INFORME	11
12. PRECISIÓN	12
13. ANTECEDENTES	12
ANEXO A	13
ANEXO B	14

## PREFACIO

### A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana ha sido elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Cementos, cales y yesos, mediante el Sistema 2 u Ordinario, durante los meses de febrero a mayo del 2011, utilizando como antecedente a la norma ASTM C 1260:2007 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method).

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Cementos, cales y yesos presentó a la Comisión de Normalización y de Fiscalización de Barreras Comerciales no Arancelarias-CNB, con fecha 2011-09-22, el PNTP 334.110:2011, para su revisión y aprobación, siendo sometida a la etapa de discusión pública el 2011-10-22. No habiéndose presentado observaciones fue oficializada como Norma Técnica Peruana **NTP 334.110:2011 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de agregados. Método de la barra del mortero**, 2ª Edición, el 13 de enero de 2012.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 334.110:2001, 1ª Edición y fue tomada en su totalidad de la norma ASTM C 1260:2007. La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurado de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

### B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Asociación de Productores de Cemento - ASOCEM
Presidente	Manuel Gonzáles de la Cotera Scheirmüller - ASOCEM
Secretaría	Juan Avalo Castillo

<b>ENTIDAD</b>	<b>REPRESENTANTE</b>
Cemento Andino S.A.	Víctor Cisneros Ricardo Ramírez
Cementos Lima S.A.A.	Rubén Gilvonio César Zanabria
Cementos Pacasmayo S.A.A.	Rosaura Vásquez
Yura S.A	Silvino Quispe
Cemento Sur S.A.	José Ramírez
Agregados Calcáreos S.A.	Gonzalo Roselló Luis Valdera
ARPL Tecnología Industrial S.A.	Hugo Lazo Lucio Argüelles
Universidad Nacional de Ingeniería Facultad de Ingeniería Civil	Carlos Barzola Rafael Cachay
Colegio de Ingenieros del Perú Consejo Departamental de Lima	Enrique Rivva
Pontificia Universidad Católica del Perú – Facultad de Ciencias e Ingeniería	Juan Harman I.
SENCICO	Vanna Guffanti
Ministerio de la Producción	Manuel Alvarez
Ministerio de Transportes y Comunicaciones	Jhonny Figueres
CONSULTOR INDEPENDIENTE	Ana Biondi
FIRTH INDUSTRIES PERÚ S.A.	Juan Harman C.
SIKA PERÚ S.A.	Gari Medina
UNICON S.A.	Aleksey Beresovsky
PREMIX S.A.	Carlos Forero

---0000000---

## CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de agregados (Método de la barra del mortero)

### 1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece el método que permite detectar dentro de 16 días el potencial de reactividad nociva álcali-sílice de los agregados en barras de mortero.

Los valores están establecidos en unidades del Sistema Internacional y serán considerados como estándar.

### 2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia en todo momento.

#### 2.1 Normas Técnicas Peruanas

2.1.1	NTP 334.051:2006	CEMENTOS. Método para determinar la resistencia a la compresión de morteros de Cemento Pórtland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado
2.1.2	NTP 334.009:2011	CEMENTOS. Cemento Pórtland. Requisitos

- 2.1.3 NTP 339.047:2006 HORMIGÓN (CONCRETO). Definiciones y terminología relativas al hormigón y agregados
- 2.1.4 NTP 334.004:2008 CEMENTOS. Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen
- 2.1.6 NTP 334.003:2008 CEMENTOS. Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica
- 2.1.7 NTP 334.076:2007 CEMENTOS. Aparato para la determinación de los cambios de longitud de pastas de cementos y morteros fraguados. Requisitos
- 2.1.8 NTP 334.077:2007 CEMENTOS. Ambientes, gabinetes y tanques de almacenamiento utilizados en los ensayos de cemento y concreto. Requisitos
- 2.1.9 NTP 400.021:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para espeso específico y absorción del agregado grueso
- 2.1.10 NTP 400.022:2002 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino

## **2.2 Normas Técnicas de Asociación**

- 2.2.1 ASTM C 295:2008 Guía para el examen petrográfico del concreto reactivo
- 2.2.2 ASTM C 856:2011 Práctica para la evaluación petrográfica del concreto endurecido

- 2.2.3          ASTM D 1193:2011          Especificación para agua grado reactivo
- 2.2.4          ASTM E 11:2009          Especificación para alambre tejido y tamices para ensayo

### 3. CAMPO DE APLICACIÓN

3.1            Esta Norma Técnica Peruana provee el método de ensayo para detectar el potencial de un agregado, destinado para su uso en hormigón (concreto), que estará sometido a la reacción álcali – sílice dando como resultado una expansión interna potencialmente nociva. La presente norma técnica se basa en el método de ensayo acelerado NBRI (**B.1, B.2, B.3, B.4**)<sup>1</sup>. Es especialmente útil para agregados que reaccionen lentamente o producen expansión tardía. Sin embargo, no evalúa las combinaciones de agregados con materiales cementosos, ni las condiciones de ensayo son representativas de aquellas que corresponden al hormigón (concreto) en servicio.

3.2            Debido a que los especímenes están expuestos a una solución de NaOH, el contenido de álcali del cemento no es un factor significativo que afecte a la expansión.

3.3            Cuando se observan expansiones excesivas (Anexo A), se recomienda se desarrolle una información suplementaria para confirmar que la expansión actual es debida a la reacción álcali-sílice. Las fuentes de tales informaciones suplementarias incluyen: (1) examen petrográfico de los agregados (ASTM C 295) para determinar si está presente algún constituyente reactivo conocido; (2) examen de los especímenes después de los ensayos (ASTM C 856) para identificar los productos de la reacción alcalina; y (3) donde sea posible, los registros de servicio de campo puede ser utilizados en la evaluación de la performance.

3.4            Cuando ha sido concluido a partir de los resultados de ensayos realizados utilizando este método y la información suplementaria que un agregado dado debe ser considerado potencialmente de reactividad nociva, debe evaluarse el uso de medidas mitigantes tales como cemento Pórtland de bajo contenido de álcali, adiciones minerales, o escoria granulada de alto horno (ver última frase del apartado 3.1).

---

<sup>1</sup> Los números en negrita entre paréntesis se refieren a las referencias que se presentan al final en este método de ensayo.

#### 4. DEFINICIONES

Para los propósitos de esta Norma Técnica Peruana se aplica la siguiente definición:

**densidad relativa (DR):** como se define en NTP 400.021 y NTP 400.022 , para agregados gruesos y finos, respectivamente.

Para las definiciones y otros términos relacionados con concreto o agregado revisar la norma NTP 334.047

#### 5. APARATOS

5.1 Los aparatos serán conforme a la NTP 334.076, excepto lo siguiente:

5.2 **Tamices:** De aberturas cuadradas, de malla de alambre conforme a la ASTM E 11.

5.3 **Mezclador, paleta y tazón de mezcla:** El mezclador, paleta y tazón de mezcla estarán de acuerdo con lo establecido en la NTP 334.003, excepto que la luz entre el extremo inferior de la paleta y el fondo del tazón será de 5,1 mm  $\pm$  0,3 mm (0,20 pulg  $\pm$  0,01 pulg).

5.4 **Apisonador y badilejo:** El apisonador y badilejo estarán de acuerdo con lo establecido en la NTP 334.051.

5.5 **Recipientes:** Los recipientes deberán ser de una naturaleza tal que las barras puedan sumergirse totalmente ya sea en agua o en una solución de NaOH 1 N . Los recipientes deberán fabricarse de un material que puedan soportar una prolongada exposición a 80 °C y deberá ser resistente a una solución de NaOH 1N (Nota 1). Los recipientes deberán ser construidos de tal manera que cuando se usen para almacenamiento de especímenes, la pérdida o ganancia de humedad sea prevenida mediante una tapa de cierre hermético, mediante sellado o ambos (Nota 2). Las barras en la solución deberán estar colocadas y sostenidas de tal manera que la solución cubra toda la superficie de la barra; por tanto, deberá asegurarse que los especímenes no toquen las paredes del

recipiente o no se toquen unos a otros. Los especímenes, si permanecieron en posición vertical en la solución, no serán sostenidos por la tachuela metálica.

NOTA 1: La solución de NaOH degradará a los recipientes de vidrio o corroerá a los de metal.

NOTA 2: Se ha encontrado que son aceptables los recipientes de cierre hermético para almacenar alimentos en microondas fabricados de polipropileno o polietileno de alta densidad.

**5.6 Estufa o baño maría:** Una estufa de convección o baño de agua con temperatura controlada que mantenga una temperatura de  $80\text{ °C} \pm 2,0\text{ °C}$ .

## 6. REACTIVOS

**6.1 Solución de hidróxido de sodio (NaOH):** Puede usarse grado USP o grado técnico, a condición que se demuestre mediante análisis químico que las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{OH}^-$  estén entre 0,99 N y 1,01 N.

**6.2 Pureza del agua:** A menos que se indique otra cosa, cuando se hace referencia al agua se entenderá que significa agua reactiva de acuerdo al Tipo IV según lo indicado en la norma ASTM D 1193.

**6.3 Solución de hidróxido de sodio** Cada litro de solución de hidróxido de sodio contendrá 40,0 g de NaOH disuelto en 900 mL de agua, y será disuelto con agua destilada o deionizada adicional para obtener 1,0 L de solución. La proporción en volumen de la solución de hidróxido de sodio para las barras de mortero en un recipiente de almacenamiento será de 4 volúmenes  $\pm$  0,5 volúmenes de solución a 1 volumen de barras de mortero. El volumen de una barra de mortero puede tomarse como 184 mL. Incluir suficientes solución de ensayo para asegurar la inmersión completa de las barras de mortero.

**6.3.1 Precaución:** Antes de usar NaOH, revisar: (1) las precauciones de seguridad para el uso de NaOH; (2) primeros auxilios en quemaduras; (3) respuesta de emergencia ante derrames, como se describe en la Hoja de Datos de Material de Seguridad del fabricante u otra literatura de seguridad disponible. El NaOH puede ocasionar quemaduras muy severas y dañar la piel y ojos desprotegidos. Deben usarse siempre equipos de protección personal. Tales equipos deberán incluir máscaras, mandiles y guantes de jebe impermeables al NaOH. Los guantes deberán revisarse periódicamente para detectar agujeros.

## 7. ACONDICIONAMIENTO

7.1 Mantener la temperatura del cuarto de moldeo y materiales secos a no menos de 20 °C y no más de 27,5 °C. La temperatura del agua de mezcla y del cuarto de curado, no variará de 23 °C por más de 1,7 °C.

7.2 Mantener la humedad relativa del cuarto de moldeo a no menos de 50 % . El cuarto de curado cumplirá con lo establecido en la NTP 334.077.

7.3 Mantener la estufa de almacenamiento o baño de agua en la cual se almacenan los especímenes en los recipientes a una temperatura de 80 °C ± 2,0 °C.

## 8. MUESTREO Y PREPARACIÓN DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

**8.1 Selección del agregado:** Procesar los materiales destinados a usarse como agregado fino en hormigón (concreto) como se describe en el apartado 8,2 Preparación de agregado, con un mínimo de trituración. Procesar los materiales destinados a usarse como agregado grueso en hormigón (concreto) mediante trituración para producir en lo posible un producto gradado del cual se pueda obtener una muestra. Gradar la muestra como se prescribe en la Tabla 1. La muestra representará la composición del agregado grueso tal como se propone usarlo.

8.1.1 Cuando un determinado material de cantera está destinado a ser utilizado tanto como agregado grueso como agregado fino, ensayarlo solamente mediante la selección de una muestra apropiada triturada a los tamaños de los agregados finos, a menos que exista una razón para esperar que las fracciones de los tamaños del agregado grueso tengan una composición diferente que los tamaños más finos y que estas diferencias puedan significativamente afectar la expansión debida a la reacción con los álcalis del cemento o del ambiente del servicio. En tales casos ensayar las fracciones de tamaño más grueso de una forma similar a los empleados en los ensayos de los tamaños del agregado fino.

**8.2 Preparación de los agregados:** Gradar los agregados que serán evaluados por este método, de acuerdo a los requisitos prescritos en la Tabla 1. Triturar los agregados

hasta producir suficiente cantidad de material de los tamaños requeridos por la Tabla 1. En el caso de agregados que contengan insuficientes cantidades de uno o más de los tamaños mayores listados en la Tabla 1, y si no se dispone de más material de tamaños mayores para triturar, el primer tamaño del cual se tenga suficiente cantidad, contendrá el porcentaje acumulativo del material debajo de tal tamaño como se determinó de la gradación especificada en la Tabla 1. Cuando tales procedimientos sean requeridos, hacer una nota especial aparte en el informe de ensayo. Después que el agregado haya sido separado en los distintos tamaños de tamiz, lavar cada fracción de tamaño aplicando un chorro de agua sobre el tamiz para remover el polvo adherido y las partículas finas del agregado. Secar las porciones retenidas sobre los distintos tamices y, a menos que no sean utilizadas inmediatamente, almacenar cada porción de tamaño individualmente en un recipiente limpio provisto de una tapa de cierre hermético.

**TABLA No. 1 – Requisitos de gradación**

Tamaño del tamiz		Porcentaje en peso
Tamiz que pasa	Tamiz que retiene	
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)	15

### 8.3 Selección y preparación del cemento:

**8.3.1 Cemento de referencia:** Utilizar cemento Pórtland que reúna los requisitos de la NTP 334.009 (Nota 3). Adicionalmente, la expansión en autoclave del método de ensayo descrito en la NTP 334.004 deberá ser menor que 0,20 %.

Nota 3: Se ha encontrado que el contenido de álcali del cemento tiene efectos insignificantes (**B.3**) o menores (**B.6**) sobre la expansión en este ensayo.

**8.3.2 Preparación del cemento:** Pasar el cemento a usarse en este ensayo a través del tamiz de 850 µm (Nº 20) para remover grumos antes de su uso.

## 8.4 Preparación de probetas de ensayo:

**8.4.1 Número de probetas:** Hacer por lo menos tres probetas de ensayos por cada combinación de cemento-agregado.

**8.4.2 Preparación de los moldes:** Preparar los moldes de las probetas de acuerdo con los requerimientos de la NTP 334.076 excepto, que las superficies interiores del molde serán cubiertas con un agente desmoldante (Nota 4). Será aceptable un agente desmoldante si sirve como agente de división sin afectar el tiempo de fraguado del cemento y sin que libere residuo que inhibiría la penetración de agua dentro de la probeta.

NOTA 4: Las cintas TFE de Fluorocarbón (Teflón) cumple con los requerimientos para un agente desmoldante.

**8.4.3 Proporciónamiento del mortero:** Dosificar los materiales secos para los morteros de ensayo usando 1 parte de cemento a 2,25 partes por masa de agregado gradado con una densidad relativa (OD) a o por arriba de 2.45. Para agregados con una densidad relativa (OD) debajo de 2.45 determinar la proporción de agregado como sigue:

$$\text{Proporción de agregado} = 2.25 \times \frac{D}{2.25}$$

Donde:

D=densidad relativa (OD) del agregado de ensayo

8.4.3.1 Para agregado con una densidad relativa (OD) igual o mayor que 2.45 las cantidades de materiales secos a mezclarse a la vez en una tanda de mortero para elaborar tres probetas será de 440 g de cemento y 990 g de agregado hechos mediante la recombinación de porciones retenidas sobre los distintos tamices (Véase apartado 8.2) en la gradación prescrita en la Tabla 1. Utilizar una relación agua/cemento igual a 0,47 por masa (Nota 5).

8.4.3.2 Para agregados con una densidad relativa (OD) menor que 2.45 las cantidades de materiales secos a mezclarse a la vez en una tanda de mortero para elaborar tres probetas será de 440 g de cemento y la masa de agregado será de 440 g multiplicado por la proporción de agregado determinado en el apartado 8.4.3. Esta masa de agregado debe ser realizada recombinando las porciones retenidas en los diferentes tamices de la gradación descrita en la Tabla 1 (apartado 8.2). Usar la proporción agua/cemento igual a 0.47 en masa (ver Nota 5).

NOTA 5: Los ensayos de aspereza indicaron que las expansiones de las barras de mortero fueron menos variables a una relación fija de agua/cemento que cuando se realizaba a un flujo constante (B.3).

**8.4.4 Mezclado del mortero:** Mezclar el mortero de acuerdo con los requisitos de la NTP 334.003.

**8.4.5 Moldeo de las probetas de ensayo:** Moldear las probetas de ensayo dentro de un tiempo total alcanzado de no más de 2 minutos y 15 segundos después de haber completado el mezclado original de la tanda de mortero. Llenar los moldes con dos capas aproximadamente iguales, siendo cada capa compactada con el apisonador. Trabajar el mortero en las esquinas, alrededor de los soportes metálicos y a lo largo de toda la superficie del molde con el apisonador hasta obtener una probeta homogénea. Después que la capa superior del molde se ha compactado, cortar el mortero sobrante apoyando la espátula con los bordes del molde y alisar la superficie con unas cuantas pasadas con el badilejo.

## 9. PROCEDIMIENTO

**9.1 Almacenamiento inicial y lecturas:** Colocar cada molde en el gabinete húmedo o cuarto de curado inmediatamente después que los moldes hayan sido llenados. Las probetas permanecerán en los moldes por 24 horas  $\pm$  2 horas. Retirar las probetas de los moldes y, mientras se proteja adecuadamente para evitar la pérdida de la humedad, identificarlos adecuadamente y realizar una lectura inicial comparativa. Hacer un registro de las lecturas inicial y las subsiguientes lecturas con una aproximación de 0,002 mm. Colocar las probetas hechas con cada muestra de agregado en un recipiente de almacenamiento con suficiente agua para sumergirlos totalmente. Sellar y colocar los recipientes en una estufa o baño de agua a  $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $176\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 3,6\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) por un período de 24 horas.

**9.2 Lecturas cero:** Retirar los recipientes de la estufa o baño de agua uno cada vez. Retirar los otros recipientes solamente después que las barras del primer recipiente se hayan medido y retornado a la estufa o baño de agua. El tiempo transcurrido entre la retirada y el retorno de las probetas de la estufa o baño de agua no debe exceder de 10 minutos. Retirar las barras una por vez del agua y secar sus superficies con un paño tomando particular atención a los dos soportes metálicos. Tomar la lectura cero (Nota 6) de cada barra inmediatamente después de secarla y leer tan pronto como la barra sea colocada en su posición. Completar el proceso de secado y lectura dentro de  $15\text{ s} \pm 5\text{ s}$  de haber sido

retirada la probeta del agua. Después de las lecturas, dejar las probetas sobre un paño hasta que se hayan tomado las lecturas en el comparador de las barras restantes. Colocar todas las probetas elaboradas con cada muestra de agregado en un recipiente con suficiente solución de NaOH, 1N a una temperatura de  $80\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $176\text{ }^{\circ}\text{F} \pm 3,6\text{ }^{\circ}\text{F}$ ) para las muestras que estarán totalmente sumergidas. Sellar los recipientes y retornarlos a la estufa o baño de agua.

NOTA 6: La barra de referencia deberá ser leída antes de cada lote de probetas ya que el calor de las probetas de ensayo puede ocasionar que cambie la longitud del comparador.

**9.3 Almacenamiento y mediciones subsiguientes:** Realizar las subsiguientes lecturas con el comparador de las probetas en forma periódica, con al menos tres lecturas intermedias, por 14 días después de la lectura cero, a aproximadamente el mismo tiempo cada día. Si las lecturas se van a continuar más allá del período de 14 días, tomar por lo menos una lectura por semana. El procedimiento es idéntico al descrito en el apartado 9.2 excepto que las probetas se retornan a su propio recipiente después de la medición.

## 10. CÁLCULOS

Calcular la diferencia entre la lectura comparativa cero de la probeta y la lectura a cada período con una aproximación de 0,001 % de la longitud efectiva y registrarla como la expansión de la probeta para tal período. Reportar el promedio de la expansión de las tres probetas de una combinación determinada de cemento-agregado con una aproximación de 0,01 % como la expansión para la combinación para un período dado.

## 11. INFORME

11.1 Reportar la siguiente información:

11.1.1 Tipo y fuente del agregado,

11.1.2 Tipo y fuente del cemento Portland,

11.1.3 Expansión en autoclave y contenido de álcali del cemento como porcentaje de óxido de potasio ( $K_2O$ ), óxido de sodio ( $Na_2O$ ) y calculado como óxido de sodio ( $Na_2O$ ) equivalente ( $Na_2O_{eq} = \% Na_2O + 0.658 \times \% K_2O$ )

11.1.4 Cambio de longitud promedio en porcentaje en cada lectura de las probetas.

11.1.5 Cualquier información relevante respecto a la preparación de los agregados, incluyendo la gradación de los agregados cuando difiere de la dada en el apartado 8.2.

11.1.6 Cualquier característica significativa revelada por inspección de las probetas durante y después del ensayo.

11.1.7 Cantidad de agua de mezcla expresada como porcentaje en masa de cemento.

11.1.8 Un gráfico de los datos de cambio de longitud desde el tiempo de la lectura cero hasta el final del período de los 16 días.

## 12. PRECISIÓN

12.1 Precisión entre laboratorios: Se ha encontrado que el coeficiente promedio de variación de materiales en el mismo laboratorio con una expansión promedio mayor que 0,1 % a 14 días es 2,94 % (**B.5**) (Nota 7). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos conducidos apropiadamente ente el mismo laboratorio en probetas de una muestra de agregado no deben diferir en más que 8,3 % (Nota 7) de la expansión promedio.

12.2 Precisión multi-laboratorios: se ha encontrado que el coeficiente promedio multi-laboratorio de variación con una expansión promedio mayor que 0,1% a 14 días es 15,2% (**B.5**) (Nota 7). Por lo tanto, los resultados de dos ensayos conducido apropiadamente en diferentes laboratorios en probetas de una muestra de agregados no debe diferir en no más de 43 % (Nota 7) de la expansión promedio.

Nota 7: Estos números representan, respectivamente, los límites (1s %) y (d2s %) y se describen en la ASTM C 670.

**13. ANTECEDENTES**

- 13.1 NTP 334.110:2001 CEMENTOS. Método de ensayo para determinar la reactividad potencial alcalina de agregados. Método de la barra del mortero
- 13.2 ASTM C 1260:2007 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

## ANEXO A (INFORMATIVO)

### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

**A1** Hay una buena concordancia en la literatura publicada (**B.1, B.2, B.7-B.10**) para los siguientes límites de expansión:

**A1.1** Expansiones menores que 0,10 % a los 16 días son indicativos de comportamiento inócuo en muchos casos (Nota A1).

**A1.2** Expansiones mayores que 0,20 % a los 16 días son indicativos de expansión potencialmente perjudicial o deletérea. (ver 4.3)

**A1.3** Expansiones entre 0,10 % y 0,20 % a los 16 días comprenden agregados que son tan inocuos como potencialmente perjudiciales en el desempeño en servicio. Para estos agregados es particularmente importante desarrollar información adicional, tal como se indica en el apartado 4.3. En tal situación sería conveniente tomar las lecturas hasta 28 días (**B8, B10**).

NOTA A1: Se ha encontrado que algunos gneis graníticos y metabasaltos son expansivos deletéreamente en su desempeño de servicio aún cuando su expansión en este ensayo fue menor que 0,10 % a los 16 días (**B.9**). Con tales agregados, se recomienda investigar previamente su desempeño de servicio. A falta de los datos sobre el desempeño, se deberán tomar medidas mitigantes tal como se señala en el apartado 4.4.

## ANEXO B (ILUSTRATIVO)

- B1** Oberholster, R. E., and Davies, G. “And Accelerated Method for Testing the Potential Alkali Reactivity of Siliceous Aggregates”. Cement and Concrete Research, Vol 16, 1986, pp. 181- 189.
- B2** Davies, G., and Oberholster, R. E. “Use of the NBRI Accelerated Test to Evaluate the Effectiveness of Mineral Admixtures in Preventing the Alkali-Silica Reaction” Cement and Concrete Research, Vol 17, 1987, pp. 97-107.
- B3** Davies, G., and Oberholster, R. E. “An Interlaboratory Test Programme on the NBRI Accelerated Test to Determine the Alkali-Reactivity of Aggregates”. National Building Research Institute, CSIRO, Special Report BOU 92-1987, Pretoria, RSA, 1987, 16 pp.
- B4** Oberholster, R. E. “Alkali Reactivity of Siliceous Rock Aggregates: Diagnosis of the Reaction, Testing of Cement and Aggregate and Prescription of Preventative Measures”. Alkali in Concrete, Research and Practice, Copenhagen, 1983, Danish Concrete Association, pp. 419-433.
- B5** Rogers, C.A., “multi-laboratory Study of the Accelerated Mortar Bar Test (ASTM Test NMethod C 1260) for Alkali-silica Reaction”, Cement, Concrete and Aggregates, Vol. 12, 1999, pp.185-194
- B6** Hooton, R. D. “Interlaboratory Study of the NBRI Rapid Test Method and CSA Standardization Status”. Report EM-92, Ontario Ministry of Transport, March 1990, pp. 225-240.
- B7** Hooton, R. D., and Rogers, C. A. “Evaluation of Rapid Test Methods for Detecting Alkali-Reactive Aggregates”. Proceedings, Eighth International Conference on Alkali-Aggregates Reaction, Kyoto, 1989, pp. 439-444.
- B8** Hooton, R. D. “New Aggregate Alkali-Reactivity Test Methods”. Report MAT-91-14, Ontario Ministry of Transportation, November 1991.
- B9** Fournier, B., and Berube, M. A. “Application of the NBRI Accelerated Mortar Bar Test to Siliceous Carbonate Aggregates Produced in the St. Lawrence Lowlands, Part 2: Proposed Limits, Rates of Expansion, and Microstructure of Reaction Products”. Cement and Concrete Research, Vol 21, 1991, pp. 1069-1082.

**B10** Hooton, R. D., and Rogers, C. A. “Development of the NBRI Rapid Mortar Bar Test Leading to its Use in North America”. Proceedings, Ninth International Conference on AAR in Concrete, London, 1992, pp. 461-467.

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL



# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP – ALTA DURABILIDAD



## DESCRIPCIÓN

El Cemento Portland Pozolánico Yura IP, ALTA DURABILIDAD, es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO<sub>2</sub>, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el Cemento Portland Pozolánico YURA IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

## LA DURABILIDAD

“Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil”.

## CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

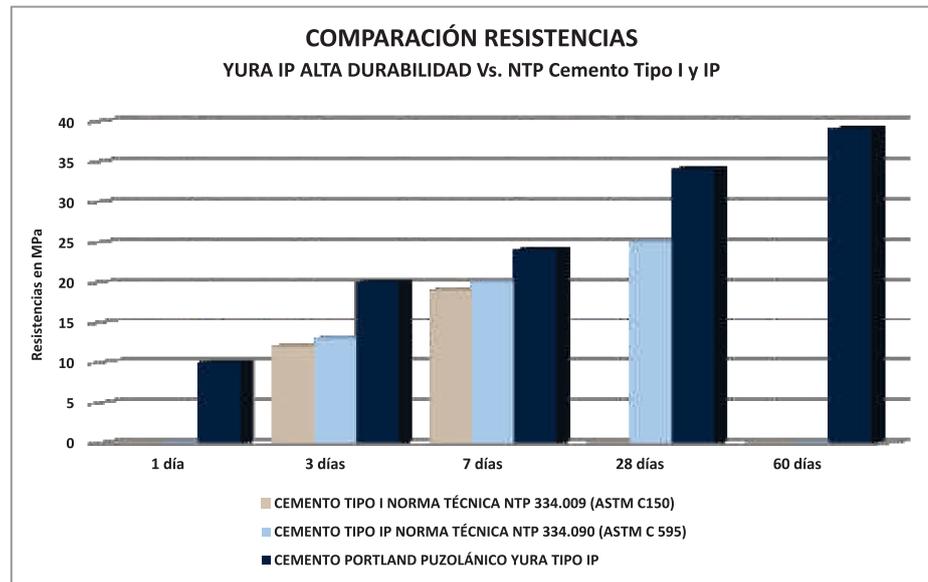
REQUISITOS QUÍMICOS	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA TIPO IP	Requisitos Norma NTP 334.090 ASTM C-595
MgO (%)	1.99	6.00 Máx.
SO <sub>3</sub> (%)	1.75	4.00 Máx.
Pérdida por ignición (%)	2.14	5.00 Máx.

REQUISITOS FÍSICOS	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA TIPO IP		Norma NTP 334.090 ASTM C-595		Comparativo con Norma Tipo I y Tipo V Requisitos Norma Técnica NTP 334.009 / ASTM C 150	
	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa	Cemento Tipo I Kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Peso específico (gr/cm <sup>3</sup> )	2.85		-		-	
Expansión en autoclave (%)	0		0.80 Máx.		-	
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170		45 Mín.		-	
Fraguado Vicat final (minutos)	270		420 Máx.		-	
Resistencia a la compresión						
1 días	104	10	-	-	-	-
3 días	199	20	133 Mín.	13	122	12
7 días	247	24	204 Mín.	20	194	19
28 días	342	34	255 Mín.	25	-	-
60 días	397	39	-	-	-	-
Resistencia a los sulfatos	Cemento IP				Cemento Tipo V	
% Expansión a los 14 días	0.018			-	0.04 Máx.	



# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP – ALTA DURABILIDAD

COMPARATIVO CON  
REQUISITOS DE  
RESISTENCIA DE  
NORMAS TÉCNICAS



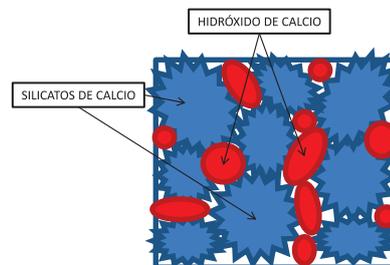
PROPIEDADES

## 1 MAYOR RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolana, hacen que el cemento Yura IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

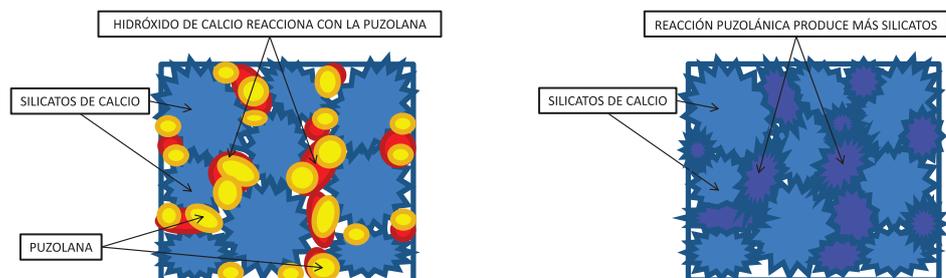
Los aluminosilicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

### CON CEMENTO TIPO I



El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25% es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

### CON CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP



La puzolana que contiene el cemento YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014

PLANTA: Estación Yura Km 26 s/n, Yura, Arequipa - Perú  
OFICINA COMERCIAL: Av. General Diez Canseco N° 527 - Arequipa  
TELÉFONO: (054) 495060 - 225000 - FAX: (054) 220650  
www.yura.com.pe



# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP – ALTA DURABILIDAD

## PROPIEDADES

### 2 RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS:

El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio dihidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el cemento Yura Tipo IP es más resistente a los sulfatos y al ataque químico de otros iones agresivos.

Resultados de laboratorio demuestran que el cemento Portland Tipo IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.

Resistencia a los sulfatos	Resultado Cemento YURA IP	Resultado Cemento YURA Tipo V	Requisitos de Norma NTP 334.009 Tipo V
Máximo % de Expansión a los 14 días	0.018	0.029	0.040 Máx.

\* La expansión del cemento YURA IP - ALTA DURABILIDAD, es menor que la del cemento Tipo V y mucho menor al exigido en la norma.

### 3 MAYOR IMPERMEABILIDAD:

El cemento portland puzolánico YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los aluminosilicatos de la puzolana con los hidróxidos de calcio producidos en la hidratación del cemento, disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace menos permeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

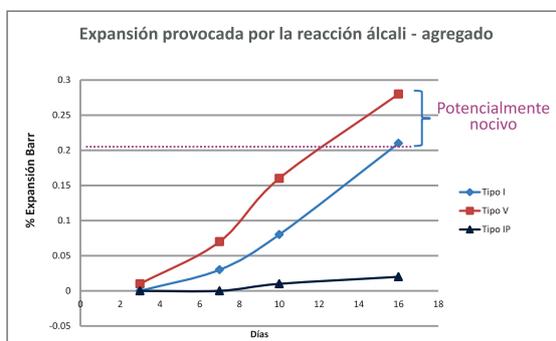
### 4 DISMINUYE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO:

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali – agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos. El cemento Yura tipo IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.

#### ENSAYO DE COMPROBACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA TIPO IP QUE INHIBE LA REACCIÓN ÁLCALI – AGREGADO.

Comparación de potencial de reactividad alcalina de los cementos tipos I, V y IP según método de la norma ASTM C1260-07



El cemento Yura IP neutraliza esta reacción protegiendo al concreto contra este tipo de ataque.

Días	% Expansión Barr		
	Cemento tipo I	Cemento tipo V	Cemento tipo IP
3 días	0	0.01	0
7 días	0.03	0.07	0
10 días	0.08	0.16	0.01
16 días	0.21*	0.28*	0.02**

\* Los cementos tipo I y V presentan un porcentaje de expansión de 0.20 a los 16 días lo cual se les considera potencialmente dañino.

\*\* Bajo riesgo de expansión en condiciones de campo.



# CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP – ALTA DURABILIDAD

## PROPIEDADES

### 5 MENOR CALOR DE HIDRATACION:

La reacción entre el Hidróxido de Calcio, liberado en la hidratación el cemento, con el aluminato tricálcico(C3A) presente en el cemento, genera gran calor de hidratación. La puzolana al reaccionar con el hidróxido de calcio, inhibe esta reacción, generando menor calor de hidratación, evitando contracciones y fisuraciones que afectan la calidad del concreto, principalmente en obra de gran volumen.

El cemento de Yura tipo IP cumple con el requisito, a los 7 y 28 días, de generar un moderado calor de hidratación. Por lo tanto, puede utilizarse al igual que el cemento Portland tipo II.

## BENEFICIOS AMBIENTALES

Menor consumo energético.  
Cemento fabricado con menor emisión de CO<sub>2</sub>.

## RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

- El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.
- En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.
- En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.
- Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:



Guantes Impermeables



Protección Ocular



Botas Impermeables



Protección Respiratoria

## ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.

## PRESENTACIONES DISPONIBLES

- **Bolsas 42.5 Kg** Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
- **Big Bag 1.0 TM** Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
- **Big Bag 1.5 TM** Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
- **Granel** Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

## NORMAS TÉCNICAS

EL CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO YURA IP - ALTA DURABILIDAD, cumple con las especificaciones técnicas de los siguientes países:

PAIS	NORMA		DENOMINACIÓN	
Perú	Norma Técnica Peruana	NTP 334.090	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO	TIPO IP
Chile	Norma Chilena Oficial	NCh 148 Of68	CEMENTO PUZOLÁNICO	GRADO CORRIENTE
USA	Norma Americana	ASTM C595	PORTLAND POZZOLAN CEMENT	TYPE IP
Bolivia	Norma Boliviana	NB-011	CEMENTO PORTLAND CON PUZOLANA	TIPO IP 30
Ecuador	Norma Técnica Ecuatoriana	NTE INEN 490	CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO	TIPO IP
Brasil	Norma Brasileña	NBR 5736	CIMENTO PORTLAND POZOLÁNICO	TIPO CP IV 32
Colombia	Norma Técnica Colombiana	NTC 121 - 321	CEMENTO PORTLAND	TIPO 1

## DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.

VERSIÓN NOVIEMBRE 2014

TIPO IP – ALTA DURABILIDAD