



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

---

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE ESCORIA DE ZINC SOBRE LA DENSIDAD, FINURA, FRAGUADO, EXPANSIÓN, FLUIDEZ Y COMPRESIÓN, POR CEMENTO PORTLAND TIPO I, TRUJILLO 2018.

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Civil**

**Autores:**

Bach. Ascate Vásquez Diego Armando

Bach. Zavaleta Alfaro Johan Yelsin

**Asesor:**

Ing. Vásquez Alfaro Iván Eugenio

Trujillo – Perú

2018

## APROBACIÓN DE LA TESIS

El asesor y los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis desarrollada por los Bachilleres Diego Armando Ascate Vásquez y Johan Yelsin Zavaleta Alfaro, denominada:

**INFLUENCIA DE LA SUSTITUCIÓN DE ESCORIA DE ZINC SOBRE LA DENSIDAD, FINURA, FRAGUADO, EXPANSIÓN, FLUIDEZ Y COMPRESIÓN, POR CEMENTO PORTLAND TIPO I, TRUJILLO 2018.**

---

Ing. Iván Vásquez Alfaro

**ASESOR**

---

Ing. Josualdo Villar Quiroz

**JURADO**

**PRESIDENTE**

---

Ing. Ricardo Avalos Alayo

**JURADO**

---

Ing. Alberto Vásquez Díaz

**JURADO**

## DEDICATORIA

Dedicamos este proyecto a nuestros padres, quienes forman parte primordial en nuestras vidas y que sin ellos no se hubiera logrado alcanzar esta meta. Son ellos los que hasta ahora han velado por nuestro bienestar y educación. Es así que con su esfuerzo, dedicación y las ganas de nunca rendirse, han sido un gran ejemplo hacia nosotros y nuestras familias. A nuestros padres va este proyecto, que sin ellos, nunca habría podido existir.

## AGRADECIMIENTO

Primero agradecer a Dios por permitirnos llegar a esta etapa de nuestras vidas, asimismo agradecemos especialmente a nuestros padres y hermanos por el apoyo que nos han brindado en todo este camino universitario.

Agradecemos al Ing. Iván Vásquez Alfaro por guiarnos, por su apoyo, ayuda y la gran amistad brindada.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN.....</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xiii</b>
<b>CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
1.1. Realidad problemática .....	14
1.2. Formulación del problema.....	17
1.3. Justificación.....	17
1.4. Limitaciones .....	19
1.5. Objetivos .....	20
1.5.1. Objetivo general.....	20
1.5.2. Objetivos específicos.....	20
<b>CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>21</b>
2.1. Antecedentes .....	21
2.2. Bases teóricas.....	25
2.2.1. Arena normalizada.....	25
2.2.2. Agua .....	26
2.2.3. Cemento .....	27
2.2.4. Escoria de zinc .....	42
2.3. Hipótesis .....	47
2.3.1. Hipótesis general .....	47
2.3.2. Hipótesis específicas .....	47
<b>CAPITULO 3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>50</b>
3.1. Operacionalización de variables .....	50
3.1.1. Variable independiente:.....	50
3.1.2. Variables dependientes: .....	50
3.2. Diseño de investigación .....	51
3.3. Unidad de estudio. ....	51
3.4. Población. ....	51
3.5. Muestra. ....	52
3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos .....	52
3.6.1. Técnica de recolección de datos .....	52
3.6.2. Instrumento de recolección de datos.....	53
3.6.3. Procedimientos de recolección de datos .....	53
3.7. Procedimientos de análisis de datos .....	68
<b>CAPITULO 4. RESULTADOS.....</b>	<b>71</b>
4.1. Caracterización de escoria de zinc .....	71
4.2. Ensayos de cemento con escoria de zinc.....	71
4.2.1. Densidad y finura.....	71
4.2.2. Fluorescencia rayos x.....	72

4.3. Ensayos en pasta con escoria de zinc.....	72
4.3.1.  Fraguado y expansión .....	72
4.4. Ensayos en mortero con escoria de zinc.....	73
4.4.1.  Fluidez y compresión.....	73
<b>CAPITULO 5.  DISCUSIÓN.....</b>	<b>74</b>
5.1. Caracterización de la escoria de zinc. ....	75
5.1.1.  Contenido de humedad .....	75
5.1.2.  Densidad.....	75
5.1.3.  Granulometría.....	75
5.1.4.  Índice de actividad puzolánica.....	76
5.1.5.  Fluorescencia rayos x .....	77
5.2. Ensayos en cemento con escoria de zinc.....	79
5.2.1.  Densidad.....	79
5.2.2.  Finura.....	80
5.2.3.  Fluorescencia rayos x .....	82
5.3. Ensayos en pasta con escoria de zinc.....	86
5.3.1.  Tiempo de fraguado.....	86
5.3.2.  Expansión en autoclave .....	88
5.4. Ensayos en mortero con escoria de zinc. ....	89
5.4.1.  Fluidez .....	89
5.4.2.  Resistencia a la compresión.....	91
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>99</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>101</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>102</b>
<b>APENDICE .....</b>	<b>107</b>
Apéndice 1. ....	107
Apéndice 2 .....	110
Apéndice 3. ....	118
Apéndice 4. ....	130
Apéndice 5. ....	131
<b>ANEXOS .....</b>	<b>150</b>
ANEXO 01.....	150
ANEXO 02.....	159
ANEXO 03.....	163
ANEXO 04.....	164
ANEXO 05.....	165
ANEXO 06.....	166
ANEXO 07.....	181
ANEXO 08.....	1815

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Características de arenas normalizadas.....</i>	<i>25</i>
<i>Tabla 2. Composición química del cemento portland. ....</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 3. Componentes principales del cemento portland. ....</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 4. Requisitos para utilizar escoria en cemento portland .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 5. Requisitos físicos y químicos de cementos adicionados .....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 6. Análisis mineralógico del mineral del zinc.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Análisis granulométrico del mineral del zinc. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Análisis químico del carbón. ....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 9. Análisis químico de la escoria de zinc. ....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 10. Módulo de finura de la escoria de zinc.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 11. Hipótesis general.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 12. Hipótesis específica para la densidad.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 13. Hipótesis específica para la finura. ....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 14. Hipótesis específica para el fraguado.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 15. Hipótesis específica para la expansión.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 16. Hipótesis específica para la fluidez. ....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 17. Hipótesis específica para la compresión.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 18. Variables dependientes.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabla 19. Diseño experimental unifactorial .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 20. Numero de ensayos totales .....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 21. Caracterización granulométrica e índice de vacíos de la arena ottawa. ....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 22. Contenido de humedad la de escoria de zinc.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 23. Análisis granulométrico de la escoria de zinc. ....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 24. Densidad de la escoria de zinc. ....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 25. Actividad puzolánica de la escoria de zinc. ....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 26. Fluorescencia de rayos x de la escoria de zinc. ....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 27. Densidad del cemento con escoria de zinc.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 28. Finura del cemento con escoria de zinc.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 29. Fluorescencia rayos x del cemento con escoria de zinc.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 30. Fraguado de la pasta de cemento con escoria de zinc. ....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 31. Autoclave de la pasta de cemento con escoria de zinc. ....</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 32. Fluidez del mortero con escoria de zinc.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 33. Tolerancias permisibles para ruptura de morteros . ....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 34. Compresión de morteros con escoria de zinc.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 35. Resumen de tabla anova unifactorial.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 36. Caracterización de la escoria de zinc. ....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 37. Composición mineralógica por fluorescencia rayos x de escoria de zinc.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 38. Densidad y finura del cemento con escoria de zinc.....</i>	<i>71</i>

<i>Tabla 39. Composición mineralógica del cemento con escoria de zinc.</i>	72
<i>Tabla 40. Fraguado y autoclave de pasta con escoria de zinc.</i>	72
<i>Tabla 41. Fluidez y compresión del mortero con escoria de zinc.</i>	73
<i>Tabla 42. Contenido de humedad natural de la escoria de zinc.</i>	107
<i>Tabla 43. Resultado de densidad de la escoria de zinc.</i>	107
<i>Tabla 44. Granulometría de la escoria de zinc.</i>	108
<i>Tabla 45. Índice de actividad puzolánica de la escoria de zinc.</i>	109
<i>Tabla 46. Estadística de índice de actividad puzolánica de la escoria de zinc.</i>	109
<i>Tabla 47. Resultado de densidad del cemento con escoria de zinc.</i>	110
<i>Tabla 48. Tiempo de flujo de aire para la permeabilidad.</i>	111
<i>Tabla 49. Superficie específica al 0% de escoria de zinc.</i>	112
<i>Tabla 50. Superficie específica al 5% de escoria de zinc.</i>	113
<i>Tabla 51. Superficie específica al 10% de escoria de zinc.</i>	114
<i>Tabla 52. Superficie específica al 15% de escoria de zinc.</i>	115
<i>Tabla 53. Superficie específica al 20% de escoria de zinc.</i>	116
<i>Tabla 54. Finura de cemento con escoria de zinc.</i>	117
<i>Tabla 55. Tiempo de fraguado de la pasta al 0% I.</i>	118
<i>Tabla 56. Tiempo de fraguado de la pasta al 0% II.</i>	118
<i>Tabla 57. Tiempo de fraguado de la pasta al 0% III.</i>	119
<i>Tabla 58. Tiempo de fraguado de la pasta 5% I.</i>	119
<i>Tabla 59. Tiempo de fraguado de la pasta 5% II.</i>	120
<i>Tabla 60. Tiempo de fraguado de la pasta 5% III.</i>	121
<i>Tabla 61. Tiempo de fraguado de la pasta 10% I.</i>	121
<i>Tabla 62. Tiempo de fraguado de la pasta 10% II.</i>	121
<i>Tabla 63. Tiempo de fraguado de la pasta 10% III.</i>	122
<i>Tabla 64. Tiempo de fraguado de la pasta 15% I.</i>	122
<i>Tabla 65. Tiempo de fraguado de la pasta 15% II.</i>	123
<i>Tabla 66. Tiempo de fraguado de la pasta 15% III.</i>	123
<i>Tabla 67. Tiempo de fraguado de la pasta 20% I.</i>	124
<i>Tabla 68. Tiempo de fraguado de la pasta 20% II.</i>	124
<i>Tabla 69. Tiempo de fraguado de la pasta 20% III.</i>	125
<i>Tabla 70. Expansión en autoclave de la pasta con escoria de zinc.</i>	126
<i>Tabla 71. Resultado de la fluidez del mortero con escoria de zinc.</i>	127
<i>Tabla 72. Resistencia a la compresión del mortero con escoria de zinc.</i>	128
<i>Tabla 73. Estadística de la resistencia a la compresión del mortero con escoria de zinc.</i>	129
<i>Tabla 74. Varianza de la densidad del cemento con escoria de zinc.</i>	132
<i>Tabla 75. Anova de la densidad del cemento con escoria de zinc.</i>	133
<i>Tabla 76. Varianza de la finura del cemento con escoria de zinc.</i>	134
<i>Tabla 77. Anova de la finura del cemento con escoria de zinc.</i>	136
<i>Tabla 78. Varianza de la expansión de la pasta con escoria de zinc.</i>	137



<i>Tabla 79. Anova de la expansión de la pasta con escoria de zinc .....</i>	<i>138</i>
<i>Tabla 80. Varianza del fraguado inicial de la pasta con escoria de zinc .....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 81. Anova del fraguado inicial de la pasta con escoria de zinc .....</i>	<i>139</i>
<i>Tabla 82. Varianza del fraguado final de la pasta con escoria de zinc.....</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 83. Anova del fraguado final de la pasta con escoria de zinc.....</i>	<i>141</i>
<i>Tabla 84. Varianza de la fluidez del mortero con escoria de zinc.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 85. Anova de la fluidez del mortero con escoria de zinc.....</i>	<i>142</i>
<i>Tabla 86. Varianza de compresión a 1 día de curado del mortero con escoria de zinc .....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 87. Anova de compresión a 1 día de curado del mortero con escoria de zinc .....</i>	<i>143</i>
<i>Tabla 88. Varianza de compresión a 3 días de curado del mortero con escoria de zinc .....</i>	<i>144</i>
<i>Tabla 89. Anova de compresión a 3 días del mortero con escoria de zinc .....</i>	<i>145</i>
<i>Tabla 90. Varianza de compresión a 7 días de curado del mortero con escoria de zinc. ....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 91. Anova de compresión a 7 días de curado del mortero con escoria de zinc. ....</i>	<i>146</i>
<i>Tabla 92. Varianza de compresión a 28 días de curado del mortero con escoria de zinc. ....</i>	<i>147</i>
<i>Tabla 93. Anova de compresión a 28 días de curado del mortero con escoria de zinc. ....</i>	<i>148</i>

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Proceso de la fabricación del cemento.</i>	27
<i>Figura 2. Ingreso del crudo a intercambiadores</i>	29
<i>Figura 3. Crudo en el horno a diferentes temperaturas</i>	30
<i>Figura 4. Formación del clinker.</i>	30
<i>Figura 5. Fenómeno de hidratación del cemento.</i>	36
<i>Figura 6. Procesos y operaciones del zinc.</i>	43
<i>Figura 7. Curva granulométrica de la arena de ottawa.</i>	54
<i>Figura 8. Huso granulométrico de arena fina</i>	58
<i>Figura 9. Variación porcentual respecto a igual mes del año anterior</i>	74
<i>Figura 10. Escoria de zinc en Cemento Pacasmayo.</i>	74
<i>Figura 11. Granulometría de escoria de zinc</i>	76
<i>Figura 12. Ensayo de fluorescencia rayos x</i>	78
<i>Figura 13. Densidad del cemento con escoria de zinc.</i>	80
<i>Figura 14. Permeabilidad al aire del cemento con escoria de zinc.</i>	81
<i>Figura 15. Agregado reactivo en el cemento</i>	83
<i>Figura 16. Silicato tricálcico del cemento con escoria de zinc.</i>	83
<i>Figura 17. Silicato dicálcico del cemento con escoria de zinc.</i>	84
<i>Figura 18. Aluminato tricálcico del cemento con escoria de zinc.</i>	85
<i>Figura 19. Aluminato ferrita tetracálcico del cemento con escoria de zinc.</i>	86
<i>Figura 20. Tiempo de fraguado de la pasta con escoria de zinc.</i>	88
<i>Figura 21. Expansión en autoclave de la pasta con escoria de zinc.</i>	89
<i>Figura 22. Fluidez del mortero con escoria de zinc.</i>	91
<i>Figura 23. Partícula de cemento hidratado con formación de cristales</i>	92
<i>Figura 24. Resistencia a compresión de los morteros con escoria de zinc.</i>	95
<i>Figura 25. Línea de tendencia de resistencia a compresión a 1 día.</i>	95
<i>Figura 26. Línea de tendencia de resistencia a compresión a 3 días.</i>	96
<i>Figura 27. Línea de tendencia de resistencia a compresión a 7 días.</i>	97
<i>Figura 28. Línea de tendencia de resistencia a compresión a 28 días.</i>	97
<i>Figura 29. Densidad del cemento con escoria de zinc</i>	110
<i>Figura 30. Determinación de la constante b al 0% de escoria</i>	112
<i>Figura 31. Determinación de la constante b al 5% de escoria</i>	113
<i>Figura 32. Determinación de la constante b al 10% de escoria</i>	114
<i>Figura 33. Determinación de la constante b al 15% de escoria</i>	115
<i>Figura 34. Determinación de la constante b al 20% de escoria</i>	116
<i>Figura 35. Finura del cemento con escoria de zinc</i>	117
<i>Figura 36. Fluidez del mortero con escoria de zinc</i>	128
<i>Figura 37. Puntos porcentuales de la distribución <math>F_{0.05, v1, v2}</math>.</i>	149
<i>Figura 38. Estufa de secado termostáticamente controlado</i>	150

<i>Figura 39. Ensayo granulométrico, tamizado de escoria.</i>	150
<i>Figura 40. Densidad de escoria de zinc pulverizada.</i>	150
<i>Figura 41. Actividad puzolánica de la escoria de zinc</i>	151
<i>Figura 42. Fluorescencia rayos x de la escoria de zinc.</i>	151
<i>Figura 43. Densidad del cemento con escoria de zinc.</i>	152
<i>Figura 44. Superficie específica del cemento con escoria de zinc</i>	152
<i>Figura 45. Fluorescencia rayos del cemento con escoria de zinc</i>	153
<i>Figura 46. Tiempo de Fraguado de la pasta</i>	154
<i>Figura 47. Expansión en autoclave de la pasta</i>	155
<i>Figura 48. Mezcla de mortero</i>	156
<i>Figura 53. Fluidez de morteros.</i>	156
<i>Figura 49. Probetas de mortero patrón.</i>	157
<i>Figura 50. Morteros en cámara humedad de curado</i>	157
<i>Figura 51. Proceso de morteros.</i>	157
<i>Figura 52. Ruptura de especímenes de 5cmx5cmx5cm.</i>	158

## RESUMEN

Los cementos adicionados han sido investigados desde hace mucho tiempo, poco después del descubrimiento del cemento portland. Aunque en inicios se realizaron adiciones por curiosidad, al comprobarse su eficiencia, se decide materializar y volver un material fundamental para la construcción. Es por ello que esta investigación plantea la utilización de escoria de zinc de alto horno por la sustitución de cemento pacasmayo portland tipo I, con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas, para la elaboración de un cemento adicionado, determinando la influencia de la escoria en cemento.

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó como materia prima a materiales de construcción como; la arena de ottawa, que está establecida en la NTP 334.090, como requisito que debe cumplir toda evaluación de cementos adicionados; se utilizó agua destilada a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , con cantidades establecidas por la norma de cada ensayo. Por otro lado las dosificaciones de sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I fue de 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, las probetas sometidas al ensayo de resistencia a compresión fueron curadas a 1, 3, 7 y 28 días.

Este estudio se ejecutó acorde a las Normas Técnicas Peruanas (NTP), así como también a la Asociación Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), por lo que en esta investigación se desarrollaron ensayos de caracterización a la escoria de zinc como humedad (NTP 339.185), granulometría (NTP 400.012), densidad (NTP 334.005), actividad puzolánica (NTP 334.066) y fluorescencia rayos x (NTP 334.169). Por otro lado ensayos físicos al cemento con escoria de zinc como densidad (NTP 334.005) y finura (NTP 334.002); pasta con escoria de zinc fueron fraguado (NTP 334.006) y autoclave (NTP 334.004) y mortero con escoria de zinc fue la fluidez (NTP 334.057); ensayos mecánicos al mortero con escoria de zinc fue la compresión con cubos de morteros de 5x5x5 cm (NTP 334.051) y por último ensayo químico al cemento con escoria el cual fue la fluorescencia rayos x (NTP 334.169); con un total de 135 ensayos.

Se determinó que este que cemento es adicionado, obteniendo una dosificación óptima de sustitución al 5% de escoria de zinc, donde se pudo observar una densidad de  $3.06 \text{ g/cm}^3$ , superficie específica de  $3680 \text{ cm}^2/\text{g}$ , tiempo de fraguado inicial de 139 min y fraguado final de 278 min, una expansión autoclave de 0.040%, una fluidez de 114.67%, y un resistencia a la compresión máxima de 41.2 MPa a 28 días de curado. Luego de lo mencionado se puede decir que la sustitución de escoria por el cemento al 5% no altera las propiedades del cemento portland tipo I, reduciendo costos y al mismo tiempo mitigar la contaminación ambiental mediante la reutilización de pasivos ambientales.

## ABSTRACT

The added cements have been investigated for a long time, shortly after the discovery of portland cement. Although in the beginning, additions were made out of curiosity, when their efficiency was verified, it was decided to materialize and return a fundamental material for the construction. That is why this research raises the use of blast furnace zinc slag for the replacement of pacasmayo portland type I cement, with the aim of improving its physical, chemical and mechanical properties, for the elaboration of an added cement, determining the influence of slag on cement.

For the development of this research, construction materials such as; the ottawa sand, which is established in NTP 334.090, as a requirement to be met by any evaluation of added cements; distilled water was used at a temperature of 23°C +/- 2°C, with amounts established by the standard of each test. On the other hand, the zinc slag substitution dosages by portland type I cement was 0%, 5%, 10%, 15% and 20%, the test pieces subjected to the compression resistance test were cured at 1, 3, 7 and 28 days.

This study was carried out in accordance with the Peruvian Technical Standards of Cement as well as ASTM C595, so in this investigation characterization tests were developed to zinc slag as moisture (NTP 339.185), granulometry (NTP 400.012), density (NTP 334.005), pozzolanic activity (NTP 334.066) and fluorescence x-rays (NTP 334.169). On the other hand, physical tests on cement with zinc slag as density (NTP 334.005) and fineness (NTP 334.002); pulp with zinc slag were set (NTP 334.006) and autoclave (NTP 334.004) and mortar with zinc slag was fluid (NTP 334.057); mechanical tests to the mortar with zinc slag was the compression with cubes of mortars of 5x5x5 cm (NTP 334.051) and finally chemical test to the cement with slag which was the fluorescence x-rays (NTP 334.169); with a total of 135 trials.

It was determined that this cement is added, obtaining an optimal substitution dosage at 5% zinc slag, where a density of 3.06 g / cm<sup>3</sup> could be observed, specific surface of 3680 cm<sup>2</sup> / g, initial setting time of 139 min and final setting of 278 min, an autoclave expansion of 0.040%, a fluidity of 114.67%, and a maximum compressive strength of 41.2 MPa at 28 days of curing. After the aforementioned, it can be said that the substitution of slag by 5% cement does not alter the properties of Portland type I cement, reducing costs and at the same time mitigating environmental contamination through the reuse of environmental liabilities.

## CAPITULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

A lo largo del tiempo se ha observado notables avances en los distintos ámbitos empresariales como la minería, agroindustrias, constructoras, entre otros. Tal es así, que haciendo una proyección positiva hacia el futuro y teniendo como base el amplio campo de construcción, estudios llevados a cabo por las firmas Global Construction Perspectives y Oxfor Economics, estiman que éste sector para el 2020 representará 13.2% del producto bruto interno (PBI) mundial, el cual se ve reflejado por el aumento poblacional. Así mismo, el desarrollo del sector construcción se caracteriza por estar relacionado directamente proporcional al incremento poblacional. Por lo tanto se genera incremento de construcción y consumo de cemento, exigiendo que las grandes industrias que trabajan todo el año, generen emisiones de humo provenientes de los hornos de cocción que expulsan grandes cantidades de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) al medio ambiente, perjudicando especialmente a la atmosfera.

A nivel mundial se sabe que el cemento cada día tiene mayor relevancia en la economía, puesto que este es un componente indispensable para la construcción especialmente en edificaciones, pavimentos, represas, carreteras, entre otras. Se conoce que la fabricación cemento no ecológico produce el 5% del  $\text{CO}_2$  emitido al planeta a través del humo generado de los hornos de cocción. Según Index Mundi en su reporte Cemento Hidráulico: Producción Mundial por cada país, señala que existe una producción de 2310 millones de toneladas de cemento, donde China es el mayor productor de cemento en los últimos años, habiendo producido 1880 millones de toneladas. Asimismo, la extracción de la materia prima despide considerables cantidades de polvo, produciendo polución ambiental y convirtiéndose en un agente contaminador. Por tales motivos, es que varios países se ven presionados en elaborar cementos ecológicos, utilizando insumos reaprovechables o utilizando maquinarias automatizadas para reducir el gasto de energía.

En España en el blog is-ARQuitectura se publicó la elaboración de un cemento ecológico, reutilizando las cenizas volantes de la combustión del carbón, estas cenizas necesitan menor temperatura para su fabricación a comparación de un cemento convencional, mientras que para fabricar un cemento tradicional se necesita una temperatura  $1450^\circ\text{C}$ , el cemento ecológico adicionado con cenizas volantes solo requeriría una temperatura de  $600^\circ\text{C}$  a  $800^\circ\text{C}$ , esto conlleva a que la industria cementera reduzca la emisión de  $\text{CO}_2$  en un 50% y ahorro de energía. Pero esto no es todo, las propiedades de este cemento ecológico superarían al cemento tradicional (Danze, 2007).

La Unión Europea subvenciona a empresas especialmente occidentales a la compra de plantas cementeras abandonadas o en banca rota en países pobre, y las reestablezcan pero con una nueva tecnología que reduca la emisión de  $\text{CO}_2$  o también conocida como

tecnología verde; aunque solo disminuye un 20% de CO<sub>2</sub>, es un buen avance contra el calentamiento global (Borrás, 2017).

Se conoce que en Cuba, lideran el proyecto de cemento ecológico conocido también como LC3, los cuales fueron lanzados al mercado durante el año 2013 a modo de prueba, siendo aplicado en las diferentes ramas de la construcción. Este cemento ecológico elaborado por el Centro Cubano de Investigación y Desarrollo de Materiales (CIDEM), ayuda a la reducción de emisión de CO<sub>2</sub> entre un 20% y 30% al medio ambiente evitando el calentamiento global. Esto, se lleva a cabo gracias a la sustitución de clínker por arcilla calcinada y carbonato de calcio, alcanzando propiedades superiores a un cemento portland tradicional (Pérez, 2016).

En contraste a lo mencionado, estudios demuestran que en Mérida, Yucatán; se creó un nuevo cemento a base de hidróxido de calcio, también conocido como cal hidratada, la cual generaría un material con mejores propiedades. Es así, que al realizar los ensayos a este cemento ecológico, se obtuvieron resultados equivalentes al cemento portland tradicional, por lo que en su segunda etapa piensan realizar un prototipo a una escala de producción (Narváez, 2016).

En los últimos años la gran demanda de construcción se ha posicionado como uno de los negocios más fructíferos y de mayor ganancia a nivel de mercado mundial, mediante la creación de imponentes estructuras que brinda una oportunidad de desarrollo a la sociedad. Esto ha dado cabida al surgimiento de nuevas empresas especializadas en este rubro, quienes ofrecen a la población variedad de servicios de construcción a través de proformas de acuerdo a su posicionamiento en el mercado. Asimismo, se sabe que empresas constructoras adquieren insumos en grandes cantidades para la realización de proyectos tales como materiales pétreos, acero y cemento, siendo estos dos últimos lo más costosos en su adquisición, dado esto las empresas buscan disminuir el precio de dichos insumos sin perder las sus propiedades y con igual calidad. Es así, que debido a esta necesidad se han realizado estudios, los cuales han generado propuestas para reducir costos a través de sustitución de cemento por distintos tipos de escorias en diferentes porcentajes obteniendo grandes resultados que contribuyendo con la preservación del medio ambiente mediante el buen uso del reciclaje (Gadea, 2010).

En el Perú se cuenta con cuatro productores de cemento con un total de nueve plantas cementeras, entre los que podemos encontrar a los cementos portland o tradicionales (I, II y V); cementos adicionados, donde encontramos a los puzolánicos (IPM y PM) y compuesto (fillers); y por último los cementos mejorados o performance (GU, MS, HS, MH, R). Donde los cementos portland adicionados pueden contener puzolanas, escorias de alto horno y compuestos (material calizas y/o inertes) , a los cuales podemos llamar ecológicos por utilizar insumos que muchas veces son pasivos ambientales, por otro lado, también se dice cemento ecológico a los fabricados en una planta cementera que reduzca su emisión de CO<sub>2</sub> o disminuya el consumo de energía y así poder evitar el aumento del calentamiento



global, no obstante, existe la Norma Técnica Peruana 334.090 y ASTM C595 los cual se encarga de fiscalizar la buena práctica de las investigaciones referentes a cementos adicionados (Asociación de Productores de Cemento, 2018).

Por otro lado la escoria al estar en estado suelto, esta produce polución ambiental y riesgo a la salud ya que diariamente el ser humano moviliza entre 10 000 y 20 000 litros de aire, siendo una actividad permanente y eficiente de las defensas inmunológicas. La polución ambiental trastorna este proceso y se asocia a un incremento de rinoconjuntivitis, asma y bronquitis, entre otras enfermedades respiratorias (Croce, 1997).

Estudios epidemiológicos recientes relacionan distintas afecciones pulmonares y cardiovasculares con partículas ultrafinas, de ahí el interés del estudio de estas partículas en la actualidad (Araujo, 2011).

El 3% del polvo emitido por una. Este polvo es el más nocivo, puede producir neumoconiosis en los individuos sometidos a larga exposición ya que se encuentra a nivel del suelo y puede alzarse con cualquier movimiento sin percatarnos (Enseñat, 1977) .

En el Perú según INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) en el año 2017 eran 31'237,385, personas y para el 2021 superaran los 33 millones de personas, esto indica que se necesitará más de un millón y medio de viviendas, de los cuales aproximadamente el 70% serán de material noble por ser construcciones resistentes y duraderas con mejores propiedades y sobre todo que cuidan nuestro medio ambiente debido al nuevo enfoque ecológico en viviendas sustentables y ahorro de energía en la fabricación de materiales de construcción (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

Por otro lado los últimos años la extracción de minerales ha crecido, trayendo consigo acumulación de materias no aprovechables o escorias que contaminan nuestro suelo y atmosfera, al encontrarse almacenado y en estado suelto produciendo polución ambiental. Así mismo, los elevados porcentajes de desechos que producen contaminación del suelo en el mundo han generado una gran preocupación, sobre todo en países donde no cuentan con un programa serio de manejo de residuos, actualmente la mayor parte de contaminación son generados por procesos mineros en un 57% seguidos de agricultura, aguas residuales, industrias y municipal. Actualmente, las empresas productoras de zinc como parte de su proceso de producción generan pasivos ambientales un promedio de 67 mil toneladas de escoria al año por planta. Por otro lado , debido a su composición química de 2% de Zn, 20% de C y 17% de Fe que se encuentra acumulado en estado suelto directamente sobre el suelo, habiendo la posibilidad de producir lixiviados los cuales penetran al suelo afectando la productividad, ya que cuando las lluvias se mezclan con el polvo del carbón producen ácidos que son absorbidos por el suelo alterando el ph y acabando con la microfauna que habita en el (lombrices, bacterias, hongos ,etc.), aumentando el proceso de desertificación del suelo; estos lixiviados tiene compuesto tóxicos y cancerígenos que pueden contaminar el agua subterránea mediante filtración (La Torre, 1993).



Esta investigación busca optimizar el consumo de materias primas, cuidando el medio ambiente de acuerdo al decreto legislativo de residuos sólidos N° 1278 “El país tiene como primera finalidad la prevención o minimización de la generación de residuos sólidos, frente a cualquier otra alternativa. En segundo lugar, respecto de los residuos generados, se prefiere la recuperación y la valorización material y energética de los residuos, entre las cuales se cuenta la reutilización, reciclaje, compostaje, coprocesamiento, entre otras alternativas siempre que se garantice la protección de la salud y del medio ambiente”. Conociendo esto se optó por adicionar escoria de zinc en diferentes porcentajes y constatar si el elemento añadido causa efecto en forma positiva, verificando a través de ensayos sus propiedades físicas y mecánicas; no obstante, de no realizarse esta investigación se perdería la oportunidad de reaprovechar la escoria de zinc. Así también anularía la posibilidad de contribuir al medio ambiente y reducir la contaminación producida por los procesos de extracción de zinc así como la contaminación atmosférica que genera un gran riesgo para la salud de los ecosistemas, ya que causa alrededor de dos millones de muertes prematuras al año en todo el mundo. La escoria de zinc contiene carbón como material particulado en estado suelto, este es capaz de migrar de manera indirecta por los vientos fuertes; transportando a diferentes lugares, poniendo en riesgo la salud de los pobladores y propios trabajadores, ya que el polvo de carbón gradualmente va afectando los pulmones, sangre y músculos (Gallardo, Cabrera, & Noel, 2013).

Es necesaria la utilización de la escoria de zinc en el cemento, ya que se plantea utilizar la escoria en sustitución de cemento, debido a sus diferentes aplicaciones tanto en losas, vigas, columnas, adoquines, productos prefabricados y sobre todo porque hasta la actualidad nadie ha estudiado la influencia de la sustitución de cemento portland tipo I por escoria de zinc.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye la sustitución de escoria de zinc sobre la densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión, por cemento portland tipo I, Trujillo 2018?

## **1.3. Justificación**

En la actualidad se da como prioridad al cuidado del ambiente de forma que el menor uso de combustibles deviene en menor contaminación, así pues con los cementos adicionados se logra la disminución de la huella de carbono atribuida a la fabricación del cemento, además del uso de pasivos industriales que también atentan contra el ambiente. Como ventaja adicional y no menos importante, los concretos con cementos adicionados presentan algunas ventajas tecnológicas con respecto a los tradicionales, sobre todo en referencia a resistencias mayores a largo plazo y mayor durabilidad gracias a la

impermeabilidad y a las adiciones en sí mismas. Ante estas ventajas, el mundo usa actualmente los cementos adicionados de manera muy extendida (alrededor del 85 %). En el Perú cada vez se fabrican más tipos y mayores volúmenes en todas las plantas de cemento (Biondi, 2016).

Entre las adiciones activas, sin duda, figuran las de escorias de alto horno, las que incluso tienen propiedades hidráulicas propias y las puzolanas naturales y artificiales. Como adiciones inertes, actualmente de gran uso, están los fillers, sobre todo los calizos; se debe considerar que esos fillers son en razón de su constitución y composición afines al clínker y a la pasta hidratada; resulta claro y entendible que se produzca un efecto epitáxico debido a la similitud de las estructuras. Las escorias de alto horno tienen un lugar preponderante en el contexto de las adiciones, ya que poseen hidraulicidad propia. Así, la escoria finamente molida puede reaccionar en cierto nivel al ser mezclada con agua y endurecer sin necesidad de presencia de cal, hidróxido de calcio o cemento. Las escorias de alto horno contienen compuestos adecuados para una adición como los sílico-aluminatos cálcicos (Biondi, 2016).

En el Perú se utilizan únicamente las puzolanas naturales en la fabricación del cemento, por tener poca y variable producción de cenizas volantes y ninguna de microsílíce. Sin embargo, se tienen varios cementos puzolánicos, con filler de calizo y con escoria de alto horno. Existen numerosos cementos dentro de estos tipos, pero se tratarán solo los considerados en las normas técnicas peruanas derivadas de las normas ASTM. Así se tiene una norma específica para los cementos adicionados, la NTP 334.090 de cementos portland adicionados, la cual corresponde a la norma ASTM C595, pero existe además la norma NTP 334.082 de cementos portland, que deviene de la norma ASTM C1157, que aunque es válida actualmente para todos los cementos, se inició como norma para los cementos adicionados, ya que en esencia es específicamente apropiada para estos (Biondi, 2016).

Este trabajo se realizó considerando el gran aumento del consumo de cemento, el rápido crecimiento del sector construcción que se da a nivel mundial debido al crecimiento poblacional. Por ello, la presente investigación se justifica que al realizar la evaluación, generará resultados que serán comprobados con las hipótesis planteadas, asimismo servirá como guía y sustento teórico, ampliando de esta manera las fuentes exploratorias sobre el tema en cuestión, ya que hasta la actualidad los trabajos de investigación de cementos con escoria de zinc son escasos.

Asimismo el diario el peruano anuncio que “El consumo interno de cemento aumentó 4.07% en noviembre del 2017 en comparación con lo registrado en similar mes del 2016 y acumuló seis meses de avance consecutivo, informó el INEI”. Por lo tanto esto ha generado mayor contaminación ambiental debido a la emisión de CO<sub>2</sub>, al uso excesivo de la energía y al polvo generado por la producción de cemento que originan diversas enfermedades, es por ello que mediante la sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I , se busca

reducir el calentamiento global a través de la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>, reutilización de escoria de zinc y la disminución de enfermedades donde se busca minimizarla escoria de zinc en las plantas productoras de zinc debido (Montero, 2018). En todo el planeta el 80% de la población tiene su vivienda a base de cemento y para el 2021 incrementaremos de peruanos será en más de un millón y medio de personas, de los cuales el 70% de las casas serán de concreto, debido al gran cambio en el enfoque de construcciones, es por ello que se plantea mejorar las propiedades del cemento (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018).

Por consiguiente es necesario realizar el estudio y evaluar el comportamiento de la escoria de zinc en el mejoramiento de las propiedades del cemento portland tipo I, para ello se realizaron ensayos de acuerdo a la NTP 334.090 de cementos donde también se utilizaran materiales sugeridos por la misma norma, como la arena de ottawa, agua destilada y cemento portland tipo I (el cual es de uso general y no contiene adiciones); con 5 dosificaciones al 0%, 5%, 10%, 15% y 20%, las cuales fueron asignadas debido a que el cementos portland adicionado, contiene escoria en cantidad menor al 25% según NTP 334.090 y los rangos propuestos se asignaron debido a que se realizaron un estudio preliminar con probetas piloto. Hasta el momento en Perú no se ha trabajado con este material; aunque contamos con cementos adicionados tanto con puzolanas y compuesto minerales, aún no existe un cemento portland adicionado con escoria de zinc. Por tal motivo sería de gran importancia conocer, cual es la proporción más óptima de sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I .

Por otro lado, la respuesta estructural de las viviendas se verán mejoradas gracias al incremento de la resistencia del cemento, sobre todo en elementos de importancia estructural, por ende este cemento permitirá a las estructuras responder de manera más eficiente que un cemento convencional. Por ello, es relevante estudiar este tema puesto que existen escasas fuentes que hayan profundizado de manera detallada esta variable. Así mismo, mediante esta investigación se propone dejar un alcance como recurso académico para promover y motivar a más estudiantes a innovar y continuar explorando sobre el tema.

#### **1.4. Limitaciones**

En nuestra provincia no se cuenta con todos los equipos necesarios para evaluar cemento de acuerdo a las normas técnicas peruanas vigentes, como; prensadora de pastillas para cemento, mezcladora automatizada de mortero, mezcladora para pasta y cámara de autoclave.

La adquisición de la escoria de zinc en Trujillo por el momento no es comercial por ser un sub producto industrial.

## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo general

- Determinar la influencia de la sustitución de escoria de zinc sobre la densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión, por cemento portland tipo I.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la escoria de zinc en humedad (NTP 339.185), granulometría (NTP 400.012), densidad (NTP 334.005), actividad puzolánica (NTP 334.066) y fluorescencia rayos x (NTP 334.169).
- Determinar la densidad (NTP 334.005), finura (NTP 334.002) y fluorescencia rayos x (NTP 334.169) del cemento con escoria de zinc al 0%, 5%, 10%, 15% y 20%.
- Evaluar el tiempo de fraguado (NTP 334.006) y expansión (NTP 334.004) de la pasta con escoria de zinc al 0%, 5%, 10%, 15% y 20%.
- Determinar la máxima resistencia a la compresión (NTP 334.051) y fluidez (NTP 334.057) del mortero con escoria de zinc al 0%, 5%, 10%, 15% y 20%.
- Encontrar el porcentaje óptimo de sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc.

## CAPITULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes

- 2.1.1. Abdelli K., Tahlaiti M., Belarbi R. y Oudjit M., 2017. En su investigación; Influencia de la reactividad puzolánica de la escoria de alto horno (BFS) y metacaolín sobre morteros, realizados Universidad de La Rochelle, Francia. Su investigación determina la evaluación la reactividad puzolánica de los morteros con dos aditivos minerales (metacaolín y BFS) en sustitución del cemento al 20%, 40%, 60% y 80% de escoria proveniente del subproducto de la industria de la industria siderúrgica. Se usó mortero normal, llamado también mortero estándar (1/3 cemento - 2/3 de arena), con una relación agua/cemento de 0.4 con muestras prismáticas de mortero de 4x4x16 cm<sup>3</sup> los cuales se han curado en agua a 20°C hasta la realización de las pruebas, previamente las pastas y morteros se almacenaron en una sala con aire acondicionado (20° C, 50% HR). A una edad temprana, las resistencias a la compresión de los morteros que contienen 20%, 60% y 80% de BFS son más bajas con un 79, 76 y 62 MPa respectivamente, que el mortero de referencia con 73 MPa. El mortero que contiene 40% de BFS, por el contrario, tiene un resultado superior que el mortero de referencia, llegando a los 90 MPa a los 28 días. Más allá de los 28 días, los morteros que contienen 20%, 40% y 60% de BFS II tienen mejores resultados que el mortero referencial. El mortero que contiene 80% de BFS es más bajo (débil). Por lo que podemos decir que a una edad temprana, la escoria de alto horno no reacciona instantáneamente con la portlandita producida por la hidratación de C<sub>3</sub>S y C<sub>2</sub>S del cemento, lleva unos días tener las condiciones ideales para permitir esta actividad.
- 2.1.2. Torres J., Baquero E. y Silva A., 2016. En su investigación; Evolución de la actividad puzolánica de un residuo de la industria del petróleo, realizados en la Universidad Nacional de Colombia. Se busca evaluar de la actividad puzolánica del catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC), procedente de la industria del petróleo; con el fin de explorar la posibilidad de utilizar este desecho industrial como adición al cemento para la producción de concretos y morteros. Se realizó el estudio aplicando las técnicas de Termogravimetría (TG) y Calorimetría Diferencial (DSC). La determinación del Índice de Actividad Puzolánica se determinó a partir de la resistencia a la compresión, el cual se llevó a cabo aplicando la Norma ASTM C311. Se elaboraron cubos de 5cm de lado, con Cemento Portland ordinario (OPC) y arena de Ottawa en proporción de 1: 2.75. Para la evaluación del índice de actividad puzolánica, la norma ASTM C618 precisa como valor mínimo un índice resistente igual o superior al 75% a 28 días para considerar un material como puzolana. Para este caso se reportó un índice del 69% y del 92% a los 7 y 28 días respectivamente. Los resultados mostraron que este desecho puede ser utilizado como adición al cemento en morteros y concretos, sumando la importancia de la utilización de un residuo industrial. Finalmente se puede afirmar que el uso del residuo de la industria

del petróleo; en mezclas de morteros y concretos; contribuirá a la protección del medio ambiente, debido a la utilización de un residuo industrial; a su vez que implicaría un menor consumo de cemento y con índices puzolánicos altos.

2.1.3. Ahmed O. y Hamdy A., 2015. En su estudio; El efecto de reemplazar la arena por la escoria de hierro sobre las propiedades físicas, mecánicas y radiológicas del mortero de cemento, realizado por la universidad de Tabuk de Arabia Saudita y el centro nacional de investigación de vivienda y construcción de Egipto. Investigaron los efectos de la sustitución de la arena por altos porcentajes de escoria en las propiedades de resistencia a la compresión, densidad aparente y radiación de rayos gamma del mortero, Se diseñó un mortero de cemento de proporción de mezcla 1: 3 incluyendo diversos porcentajes de escoria de hierro. Los porcentajes de sustitución fueron 0%, 40%, 80% y 100% en peso de agregado fino. Se prepararon mezclas de mortero con una proporción de cemento de agua de 0,44 y se curaron en agua potable durante 90 días. La incorporación de la escoria en morteros cementosos al 40%, 80% y 100% de sustitución mejora las características físico-mecánicas de las mezclas que el mortero patrón, mostró la mayor resistencia a la compresión entre todas las mezclas con valores de 32%, 31%, 39%, 40% y 38% más altos en comparación con la mezcla de control. Este estudio describe el comportamiento de la escoria frente a las resistencias mecánicas así como la alta actividad puzolánica que se genera al mezclar cemento con escoria en diferentes porcentajes.

2.1.4. Castellano C., Bonavetti V. e Irassar E., 2013. En su investigación; Cementos mezclas: influencia del tamaño de las partículas, realizados en la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Se estudia la influencia del tamaño de partículas de escoria (finura Blaine 460, 680 y 900 m<sup>2</sup>/kg) sobre la resistencia mecánica. Los resultados obtenidos muestran que, a primeras edades, cuando la finura del clinker se mantiene constante, al aumentar la cantidad de partículas menores a 10µm en la escoria, se incrementa la resistencia, es así que cuando el cemento tiene una finura Blaine de 460 m<sup>2</sup>/kg posee 62% de partículas mayores que 10µm y 8% mayores a 45µm su mayor aporte sobre la hidratación y la resistencia se producirá luego de los 7 días. A edades más avanzadas, el efecto de aceleración deja de ser relevante y la reacción de la escoria produce el refinamiento de granos y poros, permitiendo compensar al efecto de dilución. Por este motivo las pastas con hasta 60% a 70% de escoria con finura Blaine de 460 m<sup>2</sup>/kg alcanzan o superan la resistencia obtenida por la pasta con el cemento portland normal. Por lo que se puede decir que a edades tempranas el nivel medio de adiciones aumenta considerablemente para alcanzar una resistencia similar al patrón y a edades tardías presenta un mayor impacto sobre el comportamiento mecánico, pues puede alcanzarse una resistencia mayor a las obtenidas por la pasta de cemento sin adición con elevados contenidos de escoria de finura convencional. De esta manera, podemos decir

que reemplazando escoria de zinc por cemento portland tipo I granulada de alto horno con la finura del cemento portland, se mantiene constante la ganancia de resistencia a diferentes edades otorgada por la reacción de la adición dependerá de la distribución del tamaño de sus partículas.

2.1.5. Laínez P., Martínez M. y Velásquez G., 2012. En su investigación; La influencia del uso de microsílíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concreto de alta resistencia, realizado en la Universidad de El Salvador. Su investigación determina que se adicionará 3 porcentajes de microsílíce en el rango de 5% a 20%, con estos diseños de concreto se realizará la investigación. Así mismo se tiene los resultados de las pruebas que se realizaron al concreto en estado fresco, entre las cuales se encuentran: revenimiento al concreto, temperatura, contenido de aire, peso volumétrico y tiempo de fraguado; por otro lado también se tiene los resultados obtenidos de las pruebas que se le realizaron a la mezcla de concreto en estado endurecido, entre las cuales se encuentran: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión y el módulo de elasticidad. Todas estas pruebas se realizaron con el fin de conocer la influencia de la microsílíce en las propiedades en estado fresco y endurecido, y poder establecer correlaciones que reflejen dicho comportamiento de la microsílíce en la mezcla de concreto de alta resistencia.

Esta investigación aporta que una adición de 7%, 12%, 17% de adición de micro sílice sobre el peso del cemento, considerando los resultados de resistencia a la compresión y revenimiento obtenidos en la investigación concluye que el porcentaje de adición más viable para la utilización de micro sílice es del 12% debido a que obtuvo resistencia a la compresión a los 28 días de 689 kg/cm<sup>2</sup> respecto a la mezcla patrón, que fue de 538 kg/cm<sup>2</sup>. Al 17% obtuvo una resistencia de 714 kg/cm<sup>2</sup> sin embargo; considera adecuada al 12% ya que el rango de valores de revenimiento fue de 5 a 7 pulgadas, y al 17% fue de 3 pulgadas. Este estudio refleja los rangos en porcentaje de sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I así como la importancia de la finura de la escoria al ser utilizada en los diseños.

2.1.6. Vásquez E, 2007. En su investigación; Concreto de alto desempeño con elevado consumo de ceniza volante, realizado en la Universidad Nacional Autónoma de México, busca medir y comparar el desempeño de la ceniza volante disponible como material cementante complementario en concretos, fabricados con los materiales locales disponibles, se consideran siete consumos de cementante y un porcentaje de reemplazo de 50% del cemento portland por ceniza volante. El estudio se realizó mediante la comparación de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, se comparó mezclas de control, en donde el cementante utilizado es únicamente cemento portland; y mezclas de concreto en donde se utilizan cemento portland y ceniza volante como cementante. De los resultados del estudio experimental se puede ver que la ceniza volante no aumentó el



revenimiento de las mezclas de concreto. Esta investigación aporta que al establecer las mezclas con cenizas volantes siguen desarrollando la resistencia a la compresión a edades tardías (90 días) llegando a tener entre 28% y 76% más en comparación con la resistencia a los 28 días; donde establece que a los 28 días el efecto de la ganancia de resistencias es debido principalmente al cemento y que a los 90 días se incluye además el efecto de la ceniza volante. Este estudio indica que la sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I a edades temprana va a caer ya que los resultados hasta los 28 días se debe al cemento, por lo tanto se necesita de una activación especial de la escoria para poder cumplir con las resistencias mínimas.

2.1.7. Morrison C., Hooper R. y Lardner K., 2003. En su investigación; El uso de la escoria de ferro-silicato de la producción de ISF zinc como reemplazo de arena en concreto, realizado por Building Research Establishment (BRE) del Reino Unido. Demostró que la escoria de ferrosilicato de la producción de zinc del horno de fundición imperial (ISF) puede utilizarse como sustituto de la arena en las mezclas de concreto. Se ejecutó una sustitución de arena fina por escoria de ferrosilicato al 50% y 100%, en el concreto y se evaluó estudios de lixiviación y resistencia a la compresión a 28 días de curado. La resistencia a la compresión muestra poca variación, menor al 3%, en las mezclas que contienen la escoria de ferrosilicato en comparación con la de control, donde encontraron que el reemplazo parcial de arena por escoria en el concreto no fue significativamente perjudicial para la resistencia a la compresión del concreto después de 1 mes, con una resistencia de 40.2 MPa el control y 39.0 MPa con sustitución de escoria al 50%. Los resultados muestran que el reemplazo de arena por escoria retrasa el tiempo de fraguado del hormigón debido a que los iones de plomo y zinc forman alrededor de los granos de cemento una capa gelatinosa, retardando la hidratación del cemento, el agua que se difunde a través de esa capa gelatinosa finalmente reacciona hidratando el cemento. Este estudio aporta un análisis adicional en cuanto a la reacción de la escoria con el cemento, ya que pronostica una capa de iones de plomo y zinc que retarda la hidratación del cemento así como un aumento del tiempo de fraguado.



## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Arena normalizada

Las arenas normalizadas a nivel internacional se encuentran en dos vertientes, por un lado encontramos las que pertenecen a la norma ISO (Organización Internacional de Normalización), cuyas arenas cumplen con ciertos estándares de calidad la cual brinda una granulometría muy extendida y hace que el mortero cumpla las funciones del concreto o más conocido como microconcreto, los cuales al ensayarlos permiten obtener resultados muy similares entre ellos (González, 2013).

**Tabla 1.** Características de arenas normalizadas (González, 2013)

Ciudades	U.S.A.	Reino Unido	U.S.S.R.	ISO	Japón	China
<b>Designación</b>	ASTM C-109-80	BS 4550 Part. 3 Sección 3.4:1978	GOST 310.4-81	ISO R679"	JIS R520- 1981	GB-177-77
<b>Cemento/arena</b>	1 / 2.75	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2.5
<b>Agua/cemento</b>	0.485	0.40	0.40	0.50	0.65	0.46 a
<b>Origen de la arena</b>	Ottawa (Ill.)	Leighton Buzaard	Vorckun	Silicosa con gránulos redondeados	Toyoura	Fujian
<b>Dimensiones (mm)</b>	0.15/0.60	0.60/0.85 (max. 10% 0.6)	0.50/0.90	0.08/2.00	0.10/0.30	0.25/0.65
<b>Especímenes (cm)</b>	5 x 5 x 5	7 x 7 x 7	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16	4 x 4 x 16
<b>Compactación</b>	a mano	vibración	vibración	aplicación de choques	a mano	vibración

#### Arena de ottawa

En la actualidad la arena de ottawa proviene de Ottawa-Illinois USA, donde se estandarizó este material y es muy utilizado en investigaciones sobre materiales granulares. La NTP 334.051 especifica las características de la arena normalizada para ensayos de cemento y en la Asociación Americana para Pruebas y Materiales (ASTM) C-109 nos brinda las características de una arena normada. Entre sus características encontramos que cuenta con cuarzos cristalino con una dureza de 7 Mohs, los granos grandes son redondeados, sub-redondeados y los granos pequeños sub-angulares (Maureira, 2012).

## 2.2.2. Agua

Su composición está dada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, simbolizada químicamente por  $H_2O$ . El agua es el segundo componente del mortero, empleándose en el amasado del mismo y en su curado. Dependiendo que se utilice con uno u otro fin se le exigirá diversas características (Fernández, 2011).

### 2.2.2.1. Agua de amasado

El agua que se añade en la mezcla, junto con los demás componentes del mortero, tiene las siguientes misiones: primero, hidratar los componentes activos del cemento; segundo, actuar como lubricante haciendo posible que la masa fresca sea trabajable y, tercero, crear espacio en la pasta para los productos resultantes de la hidratación del cemento. Para que el agua sea apta para el amasado de un mortero o pasta, debe estar limpia y encontrarse libre de impurezas por encima de determinados límites a fin de que no se produzca alteraciones en la hidratación del cemento, retraso en el fraguado y endurecimiento, reducción de resistencias, ni peligros en su durabilidad. Que el agua tenga aspecto limpio no ofrece seguridad suficiente sobre su pureza (Fernández, 2011).

Según la NTP 334.077 indica que la temperatura del agua de mezclado para la preparación de los especímenes de pastas y morteros de cemento debe ser  $23^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ . También, nos dice que se debe utilizar agua destilada la cual se encuentra libre de impurezas e iones. La destilación es un método para purificar el agua, básicamente separa los componente líquidos de una mezcla eliminando las sales disueltas.

### 2.2.2.2. Agua de curado

Con respecto al curado de especímenes, el agua adecuada para el amasado es también para el curado (Fernández, 2011).

Para la NTP 334.077, los tanques serán con material no corrosivos. Tendrán control automático de temperatura para mantener el agua a  $23^{\circ}C \pm 2^{\circ}C$ , todos los tanques deberán estar equipados con un registrador de temperaturas, con un elemento sensor ubicado dentro de tanque del agua. El agua del tanque debe ser saturada con hidróxido de calcio para prevenir el afloramiento en los especímenes. El agua del tanque de almacenamiento será agitada continuamente, a intervalos que no excedan de un mes. En periodos que no excedan los 24 meses, los tanques serán lavados y rellenos con agua que contengan 3 g/l de hidróxido de calcio.

### 2.2.3. Cemento

De todos los conglomerantes hidráulicos el cemento portland y sus derivados son los más empleados en la construcción debido a que está formado básicamente por mezclas calizas, clinker y yeso (Fernández, 2011).

#### 2.2.3.1. Elaboración de cemento

El sistema que se emplea actualmente para la fabricación del cemento portland es el denominado por “vía seca”.

Consiste en extraer materias primas de la cantera mediante voladura de la caliza y arcilla, los cuales pasan a una etapa de trituración (machacadoras de mandíbulas), para reducir tamaño y generar una molienda óptima de materias primas.

Luego se dosifica la mezcla y se homogeniza, generando el crudo; este crudo se coloca en un horno rotatorio para transformar la arcilla y caliza en otros componentes, obteniéndose el clinker. Este clinker pasa a una molienda agregándole un regulador de fraguado para formar el cemento portland y agregándole otras adiciones para formar un cemento adicionado.

La piedra caliza (Carbonato de calcio)  $\text{CaCO}_3$  representa el 80%, el cual suele llevar impurezas de carbonato de magnesio  $\text{MgCO}_3$ . Y las arcillas ( $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) representa un 20%, la cual suele contener óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), ya que si no contiene óxido de hierro no es válido para la fabricación del cemento portland (Rodríguez A. , 2013).



**Figura 1.** Proceso de la fabricación del cemento (Rodríguez A. , 2013)

#### 2.2.3.2. Dosificación del crudo de los cementos portland

Para la correcta dosificación del crudo se determinan los porcentajes en peso de los compuestos químicos de las materias primas, obteniendo los siguientes módulos.

Módulo hidráulico, relaciona el óxido de cal de la caliza entre los óxidos de silíceo, alúmina y hierro de la arcilla (Rodríguez A. , 2013).

$$MH = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Estándar de cal, relaciona el óxido de cal de la caliza entre los óxidos de silíceo, alúmina y hierro de la arcilla, pero modificados con un coeficiente para mayor exactitud; es el que se utiliza actualmente en las cementeras.

$$StC = \frac{100CaO}{2.8SiO_2 + 1.1Al_2O_3 + 0.7Fe_2O_3}$$

Módulo silíceo, relaciona el óxido de silíceo entre la alúmina y el hierro de la arcilla.

$$Ms = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

Módulo de fundente, relaciona el óxido de alúmina y hierro de la arcilla.

$$Mf = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$$

El rango establecido para el control de las mezclas de arcillas y calizas son los siguientes:

$$1.7 < MH < 2.3 / StC > 90 / 1.8 < Ms < 3 / 1.8 < Mf < 2.8$$

Una vez calculado la dosificación de piedra caliza y arcilla, estas se mezclan y muelen a una granulometría inferior a 0.2 mm para obtener un crudo adecuado para introducir al horno (Rodríguez A. , 2013).

### 2.2.3.3. Proceso térmico de obtención del clinker de cementos portland

El proceso empieza en el horno vertical, que son los ciclones donde se precalientan y en el horno rotatorio donde se van a mezclar y formar los componentes fundamentales del cemento portland (Rodríguez A. , 2013).

#### ➤ Fase de precalentamiento

Con el procedimiento de preparación de la materia en “vía seca”, se produce intercambio de calor entre los gases calientes en el horno y el crudo que circula en el sentido contrario gracias a una serie de ciclones desfasados. La preparación de la materia pasa por las siguientes etapas bajo la acción progresiva de la temperatura (Rodríguez A. , 2013).



**Figura 2.** Ingreso del crudo a intercambiadores. (Rodríguez A. , 2013).

Cuando el crudo ingresa al horno vertical o intercambiadores entra en contacto con una temperatura a 350°C produciendo la deshidratación de las arcillas, luego a 550°C se produce una dislocación de las estructuras y descomposición de las arcillas en óxidos de sílice  $\text{SiO}_2$ , óxido de alúmina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y óxido de hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , conforme el crudo va acercándose al horno rotatorio a 1050°C se produce la descarbonatación del carbonato de calcio  $\text{CaCO}_3$  en dióxido de carbono  $\text{CO}_2$  y óxido de calcio  $\text{CaO}$  (Rodríguez A. , 2013).

➤ **Fases de calcinación, reacciones exotérmicas y clinkerización**

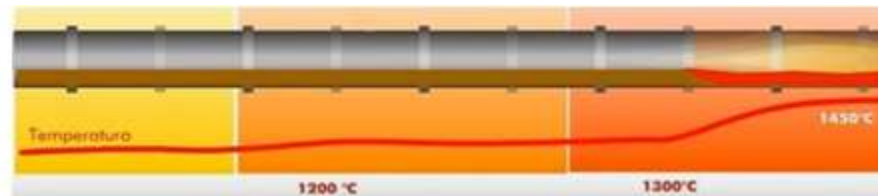
El crudo que sale de la torre de intercambios alimenta por gravedad el horno rotatorio. Las reacciones de combinación de los elementos minerales se desarrollan a medida que la temperatura aumenta de 1350°C a 1450°C hacia la llama alimentada por la tobera. Una ligera pendiente de algunos grados y la rotación lenta del horno (2 a 3 rotaciones por minuto) aseguran el avance de la materia colocada en taludes.

Final de la calcinación, una vez ingresado el crudo al horno rotatorio a una temperatura de 1050°C, se empieza a combinar el óxido de calcio  $\text{CaO}$  con el óxido de sílice  $\text{SiO}_2$  formando el silicato dicálcico  $\text{C}_2\text{S}$ . Además, el óxido de calcio  $\text{CaO}$  se combina con la alúmina  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y el hierro  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  formando el ferro aluminato-tetracálcico  $\text{C}_4\text{AF}$ .

Reacciones exotérmicas, se producen subiendo la temperatura a 1200°C, donde el óxido de calcio  $\text{CaO}$  se combina con el silicato dicálcico  $\text{C}_2\text{S}$  produciendo el

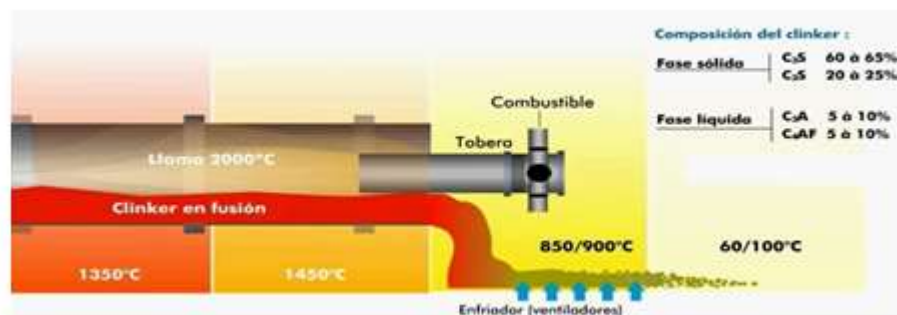
silicato tricálcico  $C_3S$  y el óxido de calcio  $CaO$  se combina con la alúmina produciendo aluminato tricálcico  $C_3A$ .

Zona de clinkerización, se da en un intervalo de temperatura de  $1300^{\circ}C$  a  $1450^{\circ}C$  es la fase donde se sigue formando  $C_3S$  y se pasa la fase líquida debido a la fusión de los aluminatos cálcicos (Rodríguez A. , 2013).



**Figura 3.** Crudo en el horno a diferentes temperaturas. (Rodríguez A. , 2013).

El clinker obtenido por la mezcla de la fase sólida y la fase líquida, debe ser enfriado bruscamente para evitar la reconversión del  $C_3S$  en  $C_2S$  y brindar una estructura vítrea en vez de cristalizar el clinker de tal manera que de  $1450^{\circ}C$  pasamos a  $60^{\circ}C$  en muy poco tiempo, dado que son inestables a altas temperaturas, asimismo se sabe que la fase sólida de los silicatos constituyen el 80% y la fase líquida 20%, esta fase líquida es la encargada de aglutinar y pegar los silicatos (Rodríguez A. , 2013).



**Figura 4.** Formación del clinker. (Rodríguez A. , 2013).

Los gránulos de clinker se mezclan con regulador de fraguado (yeso), posteriormente se pasa a la molienda del cemento. Produciéndose el cemento portland a una finura adecuada para su correcta hidratación (Rodríguez A. , 2013).

#### 2.2.3.4. Composición del cemento portland

##### ➤ Materias primas

El cemento portland está formado, básicamente, por la molienda conjunta del producto resultante de la cocción, de una mezcla caliza y arcilla que recibe el nombre de clinker y un material empleado como regulador de fraguado que, generalmente, es yeso deshidratado. El clinker está formado por una mezcla de

silicatos, aluminatos y ferrito aluminato de cal, esto hace que en la composición de las materias primas que van a formar el crudo; es decir, el material que se coloca en el horno, son los óxidos de sílice, aluminio, hierro y cal en proporciones muy concretas.

Acompañando a los óxidos, aparecen en las materias primas otros compuestos que no son tan deseables, estos son los óxidos de magnesio, sodio, potasio y otros elementos así como el anhídrido sulfúrico. Los cuatro primeros óxidos dan lugar a los componentes activos o principales del cemento portland mientras que los restantes se consideran como componentes secundarios no deseables (Fernández, 2011).

**Tabla 2.** Composición química del cemento portland. (Fernández, 2011)

Óxido	Símbolo	Contenido
CaO	C	60 - 67
SiO	S	17 - 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A	3 - 8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	0,5 - 6
MgO	M	0,1 - 4
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	N+K	0,4 - 1,3
SO <sub>3</sub>	-	0,1 - 2,5
TiO <sub>2</sub>	-	0 - 0,5
Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0 - 0,3

### ➤ Componentes principales

Durante la calcinación en la fabricación del clinker de cemento portland los óxidos se combinan con los componentes ácidos de la materia prima entre si dando lugar a cuatro importantes compuestos. Los principales compuestos que constituyen aproximadamente entre el 90% al 95% del cemento. También se presentan en menores cantidades otros compuestos.

Los componentes minerales del clinker están formados por la combinación de dos o más óxidos principales y forman cristales mixtos.

La cantidad de componentes principales puede deducirse a través de un análisis de óxidos (Fernández, 2011).

**Cálculo de la composición potencial del cemento**, se da cuando la relación de porcentajes entre óxido de aluminio a oxido férrico es 0.64 o más. Los porcentajes de silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico y aluminato ferrito tetracálcico, deben calcularse a partir de los análisis químicos como se indica a continuación (NTP 334.009, 2013):

**Silicato tricálcico:**

$$C_3S = (4.071 \times \% CaO) - (7.600 \times \% SiO_2) - (6.718 \times \% Al_2O_3) - (1.430 \times \% Fe_2O_3) - (2.852 \times \% SO_3)$$

**Silicato dicálcico:**

$$C_2S = (2.867 \times \% SiO_2) - (0.7544 \times \% C_3S)$$

**Aluminato tricálcico:**

$$C_3A = (2.650 \times \% Al_2O_3) - (1.692 \times \% Fe_2O_3)$$

**Aluminoferrito tetracálcico:**

$$C_4AF = 3.043 \times \% Fe_2O_3$$

*Tabla 3. Componentes principales del cemento portland. (Fernández, 2011).*

Nombre	Composición	Peso molecular	Fórmula abreviada	Nombre del mineral
<b>Silicato tricálcico</b>	3CaO, SiO <sub>2</sub>	228	C <sub>3</sub> S	Alita
<b>Silicato dicálcico</b>	2CaO, SiO <sub>2</sub>	172	C <sub>2</sub> S	Belita
<b>Aluminato tricálcico</b>	3CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	270	C <sub>3</sub> A	
<b>Ferrito aluminato tetracálcico</b>	4CaO, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	486	C <sub>4</sub> AF	Celita

La relación en masa de CaO/ SiO<sub>2</sub> no debe ser inferior a 2.0 y el contenido de MgO no debe exceder el 5% en masa.

**Silicato tricálcico (C<sub>3</sub>S) o “Alita”**, este componente confiere altas resistencias iniciales al cemento, prácticamente en una semana desarrolla su resistencias y después presenta una elevación de las mismas muy lenta. Genera mayor calor de hidratación.

**Silicato dicálcico (C<sub>2</sub>S) o “Belita”**, este componente da pocas resistencias en los primeros días pero luego las va desarrollando progresivamente hasta alcanzar al silicato tricálcico. Genera bajo calor de hidratación.

**Aluminato tricálcico (C<sub>3</sub>A)**, este componente por sí solo contribuye muy poco a las resistencias del cemento pero en presencia de los silicatos desarrolla unas resistencias iniciales buenas. La hidratación del C<sub>3</sub>A es rápida al tomar contacto con el agua y se emplea yeso que actúa como regulador de fraguado, hay que tener presente que los clinker que poseen un contenido alto de aluminato tricálcico dan lugar a pastas, morteros y hormigones muy sensibles al ataque de sulfatos.



**Ferrito aluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ) o “Celita”**, apenas tiene contribución en la resistencia de los cementos, el hierro que forma la celita tiene gran importancia como fundente en el horno y es responsable del color gris verdoso de los cementos portland y se encuentra en una porción de 3% y si su contenido se reduce al 0.5% o menos, se produce los cementos blancos (Fernández, 2011).

➤ **Componentes secundarios**

Los otros componentes que forman parte del clinker se encuentran se consideran como secundarios. Aunque entran en reducidas proporciones en la composición del clinker no por eso dejan de tener importancia debido a los efectos negativos a que pueden dar lugar. Estos componentes secundarios son fundamentalmente, la cal libre, la magnesia, los alcalinos y el anhídrido sulfúrico (Fernández, 2011).

**Cal libre ( $CaO$ )**, es un óxido frecuente en el cemento portland debido a un defecto en la fabricación atribuible a diversas causas. La hidratación de la cal libre es expansiva dando lugar a fisuras superficiales en el hormigón.

**Oxido de magnesio ( $MgO$ )**, al igual que la cal libre, también es expansivo aunque a más largo plazo que ésta. Suele estar combinado hasta en un 2% en las fases principales del clinker. El óxido de magnesio más peligroso es el que se encuentra cristalizado en forma de periclasa como secuencia de un enfriamiento lento del Clinker; generalmente, esto ocurre cuando se encuentra en proporción superior al 2%, estas provienen de las calizas que contienen carbonato de magnesio ( $MgCO_3$ ).

**Alcalinos ( $K_2O, Na_2O$ )**, los alcalinos o álcalis proceden de las materias primas y en general, de las arcillas y margas, encontrándose también en las cenizas del carbón quemado en el horno; en general, se volatilizan en la zona de clinkerización del horno. Los alcalinos influyen negativamente en la durabilidad de los morteros y hormigones que contengan áridos reactivos constituidos en parte por sílice.

**Trióxido de azufre ( $SO_3$ )**, En los cementos el contenido de azufre expresado como  $SO_3$  es mucho más elevado que en el clinker; debido, a la aportación que se hace en estos de yeso deshidratado como regulador de fraguado. A fin de evitar problemas de expansión por la acción de sulfatos el contenido de  $SO_3$  se encuentra limitado en los cementos al 4.5 % como máximo (Fernández, 2011).

➤ **Adiciones**

Se conoce con el nombre de adiciones a aquellos materiales inorgánicos, puzolánicos o con hidraulicidad latente que puede añadirse al cemento, mortero u hormigón, con la finalidad de mejorar algunas de las características físicas y/o

químicas. Las adiciones pueden ser: puzolanas naturales, cenizas volantes, microsílíce, escorias de alto horno, escorias metalúrgicas, etc. (Fernández, 2011).

**Puzolanas naturales.** Las puzolanas naturales son materias sólidas de naturaleza silíceo o silicoaluminosa, con la capacidad de combinarse con la cal hidráulica o con la procedente de la hidratación de los cementos, a temperatura ambiente y en presencia de agua para formar compuestos similares a los originados en la hidratación de los componentes principales del cemento portland.

**Cenizas volante.** Las cenizas volantes son un residuo sólido de fina división procedente de la combustión de carbón pulverizado en los hogares de centrales termo-eléctricas y que es arrastrado por los gases y recuperado por precipitación electrostática o por captación mecánica. Las cenizas obtenidas por otros procedimientos, o que tienen otros orígenes, no se consideran cenizas volantes.

**Escorias de alto Horno.** Las escorias constituyen una ganga fundida que flota sobre el arrabio en el crisol del horno alto. A la salida del mismo las escorias se vitrifican y granulan al enfriarse bruscamente con duchas de agua o al aire, reteniendo en estado latente su energía de cristalización que desprenderán al hidratarse posteriormente. Las escorias difieren entre sí de acuerdo con su composición química y con el tratamiento que hayan seguido. Las más interesantes para los cementos son las básicas ricas en cal y alúmina y fácilmente vitrificable. Para que una escoria sea hidráulica se precisa que cumpla:

$$\frac{CaO + MgO}{SiO_2} > 1$$

Dónde:

CaO = Oxido de calcio

MgO = Oxido de magnesio

SiO<sub>2</sub> = Dióxido de silicio

Y que presente un elevado grado de vitrificación; para desarrollar su hidráulica las escorias precisan de activadores o catalizadores tales como: cal, yeso y clinker (Fernández, 2011).

#### ➤ **Hidratación del cemento**

La hidratación es la reacción química entre las partículas de cemento y agua, produciéndose el proceso de hidratación que da lugar a dos mecanismos: el mecanismo de solución y el mecanismo topoquímico.

El mecanismo de solución, se desarrolla como disolución de los componentes que no están hidratados, formación de componentes que se han hidratado, precipitación de componentes que se han hidratado a partir de un exceso de solución, estas son las etapas iniciales de hidratación.

La hidratación topoquímica es una reacción química de estado sólido que se produce en la superficie de las partículas de cemento.

Los aluminatos se hidratan mucho más rápido que los silicatos. La reacción del aluminato tricálcico con el agua es inmediata y libera grandes cantidades de calor. Se utiliza yeso para ralentizar la velocidad de hidratación del aluminato. El yeso se disuelve rápidamente, generando iones sulfatos que bloquean la solubilidad de los aluminatos. La relación entre aluminatos y sulfatos determina la velocidad de fraguado. La pasta de cemento que se fragua a velocidad normal requiere baja concentraciones tanto de iones aluminatos como de iones sulfatos. La pasta de cemento seguirá siendo trabajable durante unos 45 minutos, a partir de ahí, comenzará a volverse rígida, a medida que los cristales desplacen al agua en los poros. La pasta comienza a solidificarse entre dos y cuatro horas después de añadir el agua al cemento. Si hay un exceso tanto de iones aluminato como de iones sulfatos, puede que la etapa en la que el cemento puede trabajarse dure solo 10 minutos y el fraguado puede tardar entre una y dos horas.

Si la disponibilidad de iones aluminato es alta y la de iones sulfato es baja, puede producirse un fraguado rápido (10 a 45 minutos) o un fraguado instantáneo (menos de 10 minutos). Por último, si la disponibilidad de iones aluminato es baja y la de iones sulfato es alta, el yeso puede volver a cristalizarse en los poros en 10 minutos, dando lugar a un fraguado instantáneo. El fraguado instantáneo provoca una gran liberación de calor y tiene como resultado una disminución de la resistencia máxima.

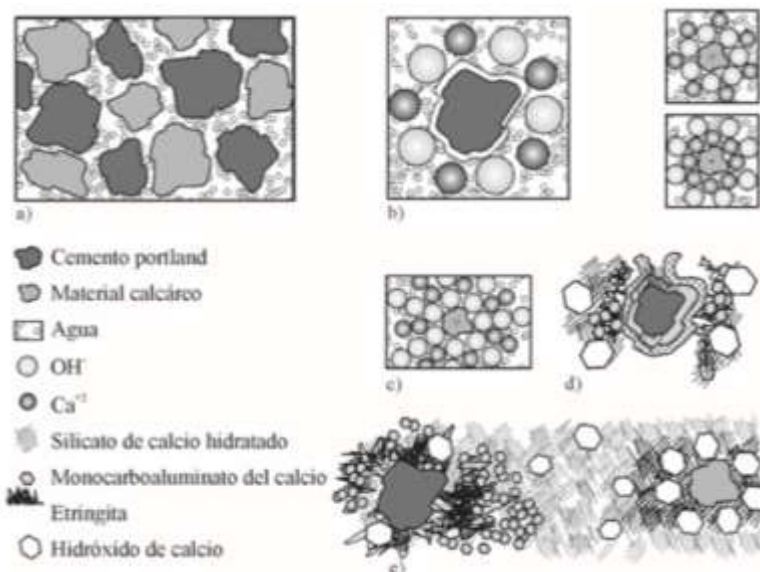
Los silicatos de calcio se combinan con agua para formar silicatos de calcio hidratado, C-S-H. Los cristales comienzan a formarse unas pocas horas después de mezclar el agua y el cemento, y se pueden desarrollar de manera continua mientras queden partículas de cemento sin reaccionar y agua libre. El C-S-H no es un compuesto bien definido. La relación calcio-silicato varía entre 1,5 y 2,0, y el contenido de agua estructuralmente combinada es todavía más variable.

El proceso de hidratación de los silicatos genera tanto C-S-H como hidróxido de calcio. La hidratación completa del  $C_3S$  produce un 61% de C-S-H y 39% de hidróxido de calcio; la hidratación completa del  $C_2S$  da lugar a un 82% de C-S-H y un 18% de hidróxido de calcio. Puesto que el C-S-H es lo que hace que la pasta de cemento sea resistente; además el hidróxido de calcio es susceptible de ser atacado por los sulfatos y las agua ácidas. Al incrementar la proporción de  $C_2S$  en relación con la de  $C_3S$ , se reduce la cantidad de hidróxido de calcio y se aumenta la resistencia a los sulfatos.

El  $C_3S$  se hidrata más rápidamente que el  $C_2S$ , contribuyendo al tiempo de fraguado final y a la ganancia de resistencia inicial de la pasta de cemento. La velocidad de hidratación se acelera si existen iones sulfato en solución. Por tanto,

un efecto secundario de la adición de yeso al cemento consiste en incrementar la velocidad de generación del C-S-H.

Esquema de hidratación del cemento con material calcáreo El clinker portland está constituido por una mezcla heterogénea de varios componentes: silicato tricálcico ( $C_3S$ ), silicato bicálcico ( $C_2S$ ), aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) y ferroaluminato tetracálcico ( $C_4AF$ ) y su proceso de hidratación consiste en una serie de reacciones simultáneas que se producen entre los compuestos anhidros y el agua. Es ampliamente conocido que no todos los componentes se hidratan a la misma velocidad y que la presencia de adiciones puede modificar estas reacciones y su cinética (Bonavetti, Castellano, Donza, Rahhal, & Irassar, 2013).



**Figura 5.** Fenómeno de hidratación del cemento. (Bonavetti, Castellano, Donza, Rahhal, & Irassar, 2013)

Cuando el cemento con material calcáreo se pone en contacto con el agua se genera la dispersión inicial (Figura 5a), e inmediatamente se produce la hidrólisis de los silicatos de calcio y se crea una disolución sobresaturada de iones oxidrilos ( $OH^-$ ) y calcio ( $Ca^{+2}$ ).

Otros iones como los sulfatos, álcalis, como también pequeñas cantidades de sílice, alúmina y óxido de hierro, se encuentran en la disolución. Además de iones carbonato procedentes de la disolución del carbonato de calcio del material calcáreo. Los iones  $OH^-$  y  $Ca^{+2}$  tienden a orientarse sobre la superficie de los granos de la adición, que debido al proceso de molienda se encuentran cargados electrostáticamente.

(Figura 5b). Este efecto se desarrolla en varias capas sucesivas, las cuales van perdiendo intensidad a medida que se alejan del grano del material calcáreo

(Figura 5c). Simultáneamente se produce la formación sobre los granos de cemento de ettringita de amasado (en forma de agujas prismáticas de corta longitud) y una fina capa de CSH.

La formación de esta capa es la responsable de que el cemento presente un período denominado reposo, durante el cual las reacciones de hidratación prácticamente se detienen y en consecuencia la pasta de cemento permanece en estado plástico y trabajable durante algún tiempo (en general de 2 a 3 horas). Los principales productos de hidratación en este estado son el CSH y la ettringita.

El final del período de reposo y el inicio del fraguado de la pasta se atribuye a la ruptura de la capa de CSH.

(Figura 5d). Consecuentemente las reacciones de hidratación continúan rápidamente. Así, los granos de material calcáreo constituyen los núcleos de cristalización a partir de los cuales se produce la precipitación de los cristales de CSH y este mecanismo resulta en parte, responsable de la aceleración inicial de la hidratación del cemento portland.

(Figura 5e). La ettringita de amasado comienza a recrystalizar, aumentando su longitud y la pasta comienza a perder su plasticidad. Debido a que el volumen de los productos de hidratación es mayor al volumen del cemento anhidro, estos productos gradualmente comienzan a llenar los espacios vacíos entre los granos de cemento y el material calcáreo, causando puntos de contactos que producen la disminución de la movilidad de la pasta.

Con el aumento en la cantidad de productos de hidratación y la elevada concentración de puntos de contactos, se restringe por completo la movilidad de la pasta y se alcanza el tiempo de fraguado final del cemento (Bonavetti, Castellano, Donza, Rahhal, & Irassar, 2013).

#### 2.2.3.5. Clasificación de los cementos

La clasificación de cementos es la siguiente:

##### a. Cementos portland

**Tipo I:** Para uso general y cuando no se precisen cementos con otras propiedades específicas.

**Tipo II:** Para uso general y cuando se precise una resistencia moderada frente a los sulfatos o moderado calor de hidratación.

**Tipo III:** Para uso cuando se precise altas resistencias iniciales.

**Tipo IV:** Para uso cuando se precise bajo calor de hidratación

**Tipo V:** Para usos cuando se precisen altas resistencias a los sulfatos.  
(Fernández, 2011)

## b. Cementos adicionados

**Cementos Portland con adición de escorias de alto horno.** Existe el tipo IS para uso general en la construcción y tres opcionales modificaciones: el MS, de resistencia moderada a los sulfatos; el A, con aireante y el MH, de moderado calor de hidratación.

**Cemento Portland Puzolánico.** Existen dos tipos: el IP, para uso general en la construcción (existen tres opciones: MS, A y MH) y el P, para uso en hormigones en los que no se requieran altas resistencia a edades tempranas existen tres opciones: MS, A y LH de bajo calor de hidratación.

**Cemento portland modificado con puzolana.** Se designa como tipo I (PM), para uso general en hormigón y dentro de él pueden considerarse las opciones: MS, A y MH.

**Cemento portland modificados con escorias.** Se designa como tipo I (SM), para uso general de hormigón, existiendo tres opciones: MS, A y MH.

**Cemento de escorias.** Denominado tipo S, puede emplearse en combinación con cemento portland en hormigones, o con cal apagada en morteros de albañilería. A este cemento puede añadirse opcionalmente un aireante con lo cual se le pone la letra A para su denominación (Fernández, 2011).

**Tabla 4.** Requisitos para utilizar escoria en cemento portland (NTP 334.090).

Ensayo	Método de ensayo aplicable	Requisito
<b>Finura:</b>		
Cantidad retenida en tamizado por vía húmeda en tamiz 45 $\mu\text{m}$ (N <sub>o</sub> 325), máx. %	NTP 334.045	20.0
<b>Índice de actividad:</b>		
Con cemento portland a 28 días, mín. %	NTP 334.066	75

**Tabla 5.** Requisitos físicos y químicos de cementos adicionados (NTP 334.090)

	Requisitos	Método de ensayo aplicable	Tipos de cementos
			IS (<70)
Físicos	Finura	334.002	
	Expansión en autoclave, máx. %	334.004	0,80
	Tiempo de fraguado, ensayo de vicat.	334.006	
	Fraguado, minutos, no menos de		45
	Fraguado, horas, no más de		7
	Resistencia a compresión, mín., MPa	334.051	
	3 días		13.0
	7 días		20.0
	28 días		25.0

	Requerimiento de agua, % en peso del cemento, máx.	334.051
Químicos	Óxido de magnesio (MgO), máx. %	---
	Azufre como trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), máx. %	3.0
	Azufre (S), máx. %	2.0
	Residuo insoluble, máx. %	1.0
	Pérdida por ignición, máx. %	3.0

### 2.2.3.6. Ensayos del cemento

#### a. Densidad (NTP 334.005)

Método para determinar la densidad del cemento portland. En el laboratorio se realiza llenando de petróleo el frasco entre las marcas de 0 ml y 1 ml. Registrar la lectura después que el frasco haya sido sumergido en baño maría.

Introducir cemento en pequeñas porciones, pesando una cantidad con aproximación de 0,05 g. Después, que todo el cemento se haya introducido, colocar el tapón en el frasco y rodar el frasco en una posición inclinada. Tomar la lectura final después que el frasco haya sido sumergido en el baño de agua maría. Se utiliza un baño termostático que debe ser mantenido a una temperatura constante y próxima de la temperatura ambiente. La temperatura del baño no deberá variar en +/- 0,1°C durante el ensayo.

El frasco volumétrico de Le Chatelier es un frasco que debe tener aproximadamente 250 mm de altura, con una ampolla de aproximadamente 250 cm<sup>3</sup> de capacidad. Para la determinación de la densidad, se usará petróleo libre de agua, a 23°C +/- 2°C.

Se permite el uso de equipos o métodos alternativos a condición de que un operador individual puede obtener resultados +/- 0,03 g/m<sup>3</sup> de los resultados obtenidos usando el método del frasco (Salamanca, 2001).

#### b. Finura (NTP 334.002)

La hidratación del cemento se inicia en la superficie de sus partículas, de aquí cuanto más finas sean éstas mayor superficie, por unidad de peso, presentarán en contacto con el agua y con mayor rapidez se producirán las reacciones de hidratación y el desarrollo consiguiente de resistencias. Hay que tener en cuenta que la velocidad de hidratación se incrementa al aumentar la superficie de contacto entre las sustancias reaccionantes, y que está en razón inversa al tamaño del grano, pudiendo variar entre 1 y 200 micras.



Al aumentar el grado de finura de un cemento hay que aumentar la cantidad de yeso debido a la mayor cantidad de  $C_3A$  disponible para hidratarse. La finura del molido puede limitarse superiormente indicando que el porcentaje, en peso, retenido por un tamiz determinado no debe ser superior a una determinada cantidad.

Este sistema tiene el inconveniente de que nada dice de la granulometría y superficie de los granos que pasan por el tamiz elegido. Esta incertidumbre se elimina por medio de la determinación de la superficie específica de las partículas, expresada en  $m^2/kg$ . Y medida por medio del permeabilímetro de blaine, en el cual una muestra de cemento de 2.8 g compactada en un molde cilíndrico a una porosidad del 50% es atravesada por un volumen determinado de aire a una presión media normalizada. La superficie específica es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo que tarda el flujo de aire en pasar entre dos marcas determinadas del manómetro del aparato (Rivera, 2010).

#### **c. Fluorescencia rayos X (NTP 334.169)**

Es el método de análisis químico de  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $SO_3$ ,  $K_2O$ ,  $TiO_2$ ,  $Mn_2O_3$ ,  $SrO$ ,  $Cl$  y  $Br$  en cementos usando fluorescencia de rayos x (FRX).

Se hace incidir sobre la muestra un haz de rayos x, donde éste golpeará a un electrón interno del átomo que saldrá despedido, al haber un espacio vacante en un orbital interno del átomo se crea una situación inestable y uno de los electrones de un orbital más externo cae hacia el hueco que ha dejado el anterior; este salto produce una energía característica de cada elemento y es leída por el detector (Delgado, 2013).

#### **2.2.3.7. Ensayos de Pasta**

La pasta de cemento endurecida es una estructura rígida formada por productos sólidos, originados durante la reacción del cemento anhidro y el agua. Puede considerarse que la pasta de cemento es un material multifase, compuesto por partículas de cemento sin hidratar, embebidas en una matriz continua de "gel de cemento", atravesada por poros de gel y poros capilares, ocupados por agua. En el interior del "gel de cemento" se encuentran los denominados "poros del gel" de tamaño inferior a los "poros capilares" (Fernández, 2011).

#### **a. Tiempo de fraguado (NTP 334.006)**

Cuando un cemento se amasa con agua en proporción del 20% a 35%, en peso, se forma una pasta que mantiene su plasticidad durante un tiempo muerto después del cual la pasta empieza a rigidizarse rápidamente hasta que desaparece su plasticidad a la vez que va aumentando su resistencia de forma



gradual. Este fenómeno es consecuencia de las precipitaciones sólidas de gel o cristal que se producen durante las reacciones de hidratación y que dan lugar a un aumento progresivo de la viscosidad de la pasta.

Durante el fraguado la pasta pierde su plasticidad llegando a adquirir algo de resistencias, mientras que el endurecimiento se caracteriza por la ganancia progresiva de resistencias de una pasta fraguada.

Durante el fraguado el primer componente que reacciona con el agua es el  $C_3S$  reduciéndose, como consecuencia de esta reacción, el agua disponible y la plasticidad de la pasta. Aunque el  $C_3A$  es más activo que el  $C_3S$ , su actividad queda frenada por la adición de yeso.

Durante el fraguado hay que distinguir el principio de fraguado y fin de fraguado que es importante para conocer el tiempo durante el cual la pasta permanece plástica, por tanto, es trabajable. El principio de fraguado se caracteriza por iniciarse la rigidez de la pasta y, el final del mismo viene marcado por la pérdida de plasticidad de aquella.

El principio y fin de fraguado se determina por medio de la penetración de la aguja vicat en una pasta hecha con el cemento a ensayar y con una cantidad de agua para la consistencia normal (Rivera, 2010).

#### **b. Expansión (NTP 334.004)**

La expansión es un defecto que presentan, a veces, las pastas de cemento endurecidas y que puede provocar la destrucción de las mismas. La expansión puede estar motivada por varios factores tales como la hidratación de cal y/o magnesia libre, un exceso en el contenido de yeso, etc.

Si las materias primas están mal dosificadas y hay un exceso de  $CaO$  sobre la que puede combinarse con los óxidos ácidos, este exceso quedará en forma de cal libre que al haber estado sometida a las altas temperaturas del horno se hidratará de forma lenta.

Si la magnesia procedente del  $MgCO_3$  (carbonato de magnesio) que acompaña a la caliza, está en forma cristalina formando periclusa tiene lugar una hidratación de la misma más diferida que en el caso en que la magnesia esté en forma vítrea.

El sulfato de calcio del yeso añadido como retardador de fraguado puede ser también responsable de la expansión si está en exceso sobre la cantidad precisa para reaccionar con el aluminato tricálcico durante el fraguado.

Tanto la hidratación de la cal, como de la magnesia, dan lugar a hidróxidos que ocupan un volumen superior al de los óxidos originales provocando por consiguiente expansiones que de acuerdo con la temperatura de cocción y la

velocidad de enfriamiento del clinker puede ser más o menos lenta (Fernández, 2011).

#### **2.2.3.8. Ensayos de mortero**

El mortero es una mezcla de agregado fino, aire, agua y cemento que al consolidarse se convierte en un material con diferentes propiedades y aplicaciones, desde resistencia hasta propiedades especiales, siendo este uno de los materiales más empleados a nivel mundial (Salamanca, 2001).

##### **a. Fluidez de morteros (NTP 334.057)**

En este ensayo se determina, la fluidez de los morteros de cemento, significa también determinar la cantidad necesaria de agua que necesita un mortero de cemento para su homogeneización entre el cemento y el árido (arena de ottawa) con esta cantidad de agua el mortero puede sacar gran eficacia en la obra a ejecutar, esto más el respectivo curado.

Según la norma el porcentaje de fluidez se debe encontrar entre,  $F = 110\% \pm 5\%$ . Este ensayo se realiza con la mesa de flujo. Al amasar el cemento con agua en donde sus componentes reaccionan con agua formando una masa plástica que dura en cierto tiempo para ser colocada en obra (Salamanca, 2001).

##### **b. Resistencia a la compresión (NTP 334.051)**

Es la característica mecánica principal del mortero se define como la capacidad para soportar una carga por unidad de área, se expresa en términos de esfuerzo, generalmente en  $\text{kg/cm}^2$ , MPa y Psi.

Esto implica que la resistencia a la compresión puede ser definida como la capacidad de soportar una fuerza sobre una determinada área. La resistencia de los cementos y la de los hormigones está ligada y de aquí la necesidad de conocerla. La resistencia de los cementos es más alta a los 28 días de curado, cuanto mayor es el contenido de  $\text{C}_3\text{S}$  y  $\text{C}_3\text{A}$ , y más elevada es la finura de molido, éste aumento a edades tempranas (Godo, 2011).

#### **2.2.4. Escoria de zinc**

##### **2.2.4.1. Zinc**

El zinc es un componente natural de nuestra corteza terrestre y es parte inherente de nuestro medio ambiente. Está presente, no solo en las rocas y suelo sino también en el aire, el agua, las plantas, animales y seres humanos (Ballester, 2000),

El zinc contribuye de múltiples formas al logro de una mejor calidad de vida pues es un elemento natural que la humanidad ha venido utilizando extensamente desde el

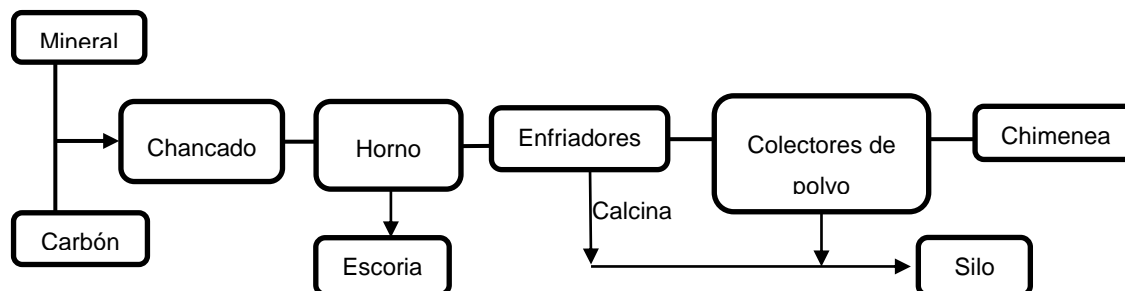
siglo XIII. Cada año se utilizan casi diez millones de toneladas de zinc primario y reciclado. Actualmente el zinc es uno de los materiales más importantes de la sociedad (Latiza, 2004).

#### 2.2.4.2. Procesos y operaciones

El objetivo del proceso Waelz es recuperar el zinc de los minerales carbonatados de zinc separándolos como óxido de zinc (ZnO). El mineral y la antracita malla -3mm al 100% son almacenados en silos, ingresarán a un mezclador helicoidal para ser perdigonados en pelletizadores de disco y luego alimentados al horno rotatorio.

En el horno rotatorio se producirá el proceso de reducción y oxidación de los metales que contiene el mineral, fundamentalmente de Zn; obteniendo ZnO y escorias de fierro y carbón. El ZnO formado y presente en los gases será succionado por un ventilador de tiro inducido, recuperando el ZnO en los enfriadores de superficie y colectores de polvos principalmente. La escoria que sale por la descarga del horno será enfriada y granulada con agua bajo presión, luego triturada por una chancadora y clasificada por fajas magnéticas, la escoria con alto contenido de Fe es destinada al stock y la escoria de carbón será recirculada al proceso (Lopez & Gonzales, 2008).

*Figura 6. Procesos y operaciones del zinc. (Lopez & Gonzales, 2008)*



#### 2.2.4.3. Materia prima

- a. **Carbón.** El carbón antracita transportado en camiones, se recepciona en la cancha del stock, antes de ser usado en el proceso Waelz pasa por dos etapas de chancado. El carbón con una granulometría de malla -5mm es almacenado en un silo.
- b. **Mineral.** Proveniente de Bongará, pasará por una etapa de clasificación y reducción primaria. Luego, el producto 100%- 1 ½" que será almacenado para su procesamiento (Lopez & Gonzales, 2008).

*Tabla 6. Análisis mineralógico del mineral del zinc. (Lopez & Gonzales, 2008)*

Composición	Contenido (%)
-------------	---------------

$Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$	22.1
$Zn_4Si_2O_7(OH)_2 \cdot H_2O$	16.41
$CaZn(CO_3)_2$	11.95
$FeO(OH)$	10.96
$CaMg((CO_3)_2)$	10.16
$CaCO_3$	8.07
$SiO_2$	6.47
$CaSO_4$	3.59
$KAl_4Si_3AlO_{10}(OH)_2$	1
Otros	9.36

**Tabla 7.** Análisis granulométrico del mineral del zinc. (Lopez & Gonzales, 2008)

Malla	Tamaño (micras)	% Peso	% Peso (-)	% Peso(+)
2"	50,800	41.03	41.03	58.97
1.5"	38,100	7.8	48.03	51.97
1"	25,40	5.14	53.97	46.03
½"	12,700	7.17	61.14	38.86
3/8"	9,525	2.65	63.79	36.21
¼"	6,350	2.95	66.74	33.26
6m	3,333	5.2	71.94	28.06
10m	1,666	4.31	76.25	23.75
20m	0.833	8.24	84.49	15.51
35m	0.417	5.11	89.6	10.4
-35m	0.35	10.4	100	0

**Tabla 8.** Análisis químico del carbón. (Lopez & Gonzales, 2008)

Detalle	Contenido
Agua	5.56%
Materia volátil	3.04%
Cenizas	15.79%
Carbón fijo	75.60%
Poder calorífico	6051 kcal/kg

### c. Productos

**Calcina**, el fume (óxido de zinc) generado en el horno rotatorio es enfriado y recolectado a través de enfriadores de superficie y colectores de polvo.

**Escoria**, es el producto residual sólido que contiene, fundamentalmente, fierro y carbón y que es enfriada con agua, acondicionada, separada y almacenada en stocks (Lopez & Gonzales, 2008).

**Tabla 9.** Análisis químico de la escoria de zinc. (Lopez & Gonzales, 2008)

Escoria			
%humedad	% Zn	C%	%Fe
0	< 2.0	20	17

#### 2.2.4.4. Tratamiento de escoria

Se tiene un ratio de salida de escoria de 67.3%, cuya composición química se estima 2% Zn, 23% Fe, 13% C, en la cual se trata de reducir el porcentaje de zinc en su contenido. La escoria es tratada por separación magnética para recuperar hierro y carbón. La antracita recuperada es retornada al proceso de chancado, mientras que el hierro recuperado será comercializado.

La escoria se descarga en una canaleta a la que se inyecta agua a presión para romper esta y almacenarla en las pozas. De allí se separa el agua por rebose que pasarán a otras pozas para su tratamiento y posterior retorno. La escoria se transporta hacia una tolva intermedia que alimenta a un disco alimentador y este a las chancadoras de martillo. El producto de las chancadoras cae a la faja de separación magnética, donde se separa el carbón y el hierro, que se transporta hacia una cancha de almacenamiento por medio de la faja. La escoria de antracita tiene la siguiente composición: C, 65%; Zn, 1.19% y Fe, 7.71% (Lopez & Gonzales, 2008).

#### 2.2.4.5. Caracterización de escoria

##### a. Contenido de humedad (NTP 339.185)

El contenido de humedad en lote (humedad de muestras con peso mayor a 1.0 kg) presentes en las escorias de reducción, es de 3,86% +/- 0.89 % (valor promedio) y 3.86% +/- 0.38% (valor de confianza). El contenido de humedad es menor al 5.0% por lo que no se requeriría de mucha energía (kwh/ton), en el secado de escorias de reducción. Este valor, puede indicar igualmente, un bajo potencial de hinchamiento (variación volumétrica de un material por la absorción de agua), y por ende, una baja absorción de agua (Neret, 2004).

##### b. Granulometría (NTP 400.012)

Es el método para la determinación de la distribución por tamaños de partículas del agregado fino, grueso y global por tamizado.

Se aplica para determinar la gradación de materiales propuestos para su uso como agregados o los que están siendo utilizados como tales.

Una muestra de agregado seco, de masa conocida, es separada a través de una serie de tamices que van progresivamente de una abertura mayor a una menor, para determinar la distribución del tamaño de las partículas.

Los tamices serán montados sobre armaduras construidas de tal manera que se prevea pérdida de material durante el tamizado (Gadea, 2010).

**Curva Granulométrica**, se representa generalmente sobre el eje de las ordenadas el porcentaje que pasa, en escala aritmética; y en abscisas la abertura de los tamices en escala logarítmica.

**Módulo de Finura**, el módulo de finura es un factor empírico que permite estimar que tan fino o grueso es un material (Rivera, 2010)

**Tabla 10.** Módulo de finura de la escoria de zinc. (Rivera, 2010)

Módulo de finura	Agregado fino
Menor que 2,00	Muy fino o extra fino
2,00-2,30	Fino
2,30-2,60	Ligeramente fino
2,60-2,90	Mediano
2,90-3,20	Ligeramente grueso
3,20-3,50	Grueso
Mayor que 3,50	Muy grueso

**Tamaño Máximo**, está definido como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad del agregado. De manera práctica representa el tamaño de la partícula más grande que tiene el material.

**Tamaño Máximo Nominal**, el tamaño nominal máximo de las partículas es el mayor tamaño del tamiz, listado en la norma aplicable, sobre el cual se permite la retención de cualquier material (Rivera, 2010)

### c. Actividad puzolánica NTP 334.066

La palabra puzolana se utilizó inicialmente para describir las cenizas volcánicas, de Puzzolli, una villa cerca de Nápoles, Italia. Las cenizas proveían de las erupciones del volcán Vesubio.

Es la relación entre la resistencia a la compresión de cubos de morteros hechos con puzolana y cemento a través de cubos de morteros, realizados con un solo cemento (se expresa en porcentaje).

Este se utiliza para determinar si una puzolana presenta un nivel aceptable del desarrollo de resistencia cuando se emplea en cementos portland puzolánicos. Debido a que el ensayo se realiza con morteros, los resultados no pueden

proporcionar información directa sobre cómo la puzolana contribuirá a la resistencia en el concreto.

Para los efectos de este ensayo, la puzolana debe poseer una finura tal que el residuo sobre el tamiz normalizado de 45 $\mu$ m (N<sup>o</sup>325) no sea mayor que el 20%.

Se deben almacenar los especímenes en los moldes en un cuarto o cámara húmeda a 23°C +/- 1,7°C durante 20h a 24h. Mientras se encuentren en el cuarto o cámara húmeda, proteger su superficie del goteo de agua. Sacar los moldes del cuarto o cámara húmeda y desmoldar los cubos. Colocar los especímenes en un recipiente de vidrio o metal, cerrar el recipiente herméticamente y almacenar a 38°C +/- 1,7°C durante 27 días. Antes de ensayar, conservar los especímenes a 23 °C +/-1,7°C para enfriarlos (Carrasco F. , 2007).

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis general

La sustitución de escoria de zinc influye en la densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión, por cemento portland tipo I, Trujillo 2018. Generará un cemento con resultados superiores o equivalentes que a la vez contribuirá con el medio ambiente.

*Tabla 11. Hipótesis general*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de escoria de zinc influye en la densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión por cemento portland tipo I, Trujillo 2018. Generará un cemento con resultados superiores o equivalentes, que a la vez contribuirá con el medio ambiente.	- Densidad - Finura - Fraguado - Expansión - Fluidez - Compresión	Cemento, pasta y mortero	Influye	Trujillo	2018

### 2.3.2. Hipótesis específicas

- La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I disminuye la densidad, Trujillo 2018. Generará un cemento más liviano.

*Tabla 12. Hipótesis específica para la densidad.*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I disminuye la densidad, Trujillo 2018. Generará un cemento más liviano.	Densidad	Cemento	Disminuye	Trujillo	2018

- La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la finura, Trujillo 2018. Generará un cemento con mayores resistencias iniciales.

**Tabla 13.** *Hipótesis específica para la finura.*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la finura, Trujillo 2018. Generará un cemento con mayores resistencias iniciales.	Finura	Cemento	Aumenta	Trujillo	2018

- La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta el tiempo de fraguado, Trujillo 2018. Generará un cemento retardante de fraguado.

**Tabla 14.** *Hipótesis específica para el fraguado*

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta el tiempo de fraguado, Trujillo 2018. Generará un cemento retardante de fraguado.	Fraguado	Pasta	Aumenta	Trujillo	2018



- La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la expansión, Trujillo 2018. Generará un cemento con menor estabilidad de volumen.

**Tabla 15.** Hipótesis específica para la expansión.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la expansión, Trujillo 2018. Generará un cemento con menor estabilidad de volumen.	Expansión	Pasta	Aumenta	Trujillo	2018

- La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I disminuye la fluidez, Trujillo 2018. Generará un cemento con mayor trabajabilidad.

**Tabla 16.** Hipótesis específica para la fluidez.

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I disminuye la fluidez, Trujillo 2018. Generará un cemento con mayor trabajabilidad.	Fluidez	Mortero	Disminuye	Perú	2018

- La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la resistencia a la compresión, Trujillo 2018. Generará un cemento con resistencias a la compresión equivalentes.

**Tabla 17.** Hipótesis específica para la compresión

Hipótesis	Componentes metodológicos			Componentes referenciales	
	Variables	Unidad de análisis	Conectores lógicos	El espacio	El tiempo
La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la resistencia a la compresión, Trujillo 2018. Generará un cemento con	Compresión	Mortero	Aumenta	Perú	2018

mayores resistencias a la compresión.

## CAPITULO 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Operacionalización de variables

#### 3.1.1. Variable independiente:

Escoria de Zinc. 0%, 5%, 10%, 15% y 20%

#### 3.1.2. Variables dependientes:

- A. Densidad (g/cm<sup>3</sup>).
- B. Finura (cm<sup>2</sup>/g).
- C. Fraguado (min).
- D. Expansión (%).
- E. Fluidez (%).
- F. Compresión (MPa).

**Tabla 18.** Variables dependientes.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Ítems
<b>Densidad</b>	Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.	Propiedad física	Cantidad de cemento	g
			Volumen	cm <sup>3</sup>
<b>Finura</b>	Finura de cemento hidráulico en términos de la superficie específica.	Propiedad física	Compactación	cm <sup>2</sup> /g
			Morfología	-
<b>Fraguado</b>	Condición de una pasta cuando ha perdido plasticidad.	Propiedad física	Penetración de aguja de vicat	mm
			Tiempo de fraguado inicial	min
			Tiempo de fraguado final	min
<b>Expansión</b>	Estabilidad del volumen de especímenes prismáticos.	Propiedad física	Área probeta	cm <sup>2</sup>
			Dimensión final	%
			Expansión de probeta	in <sup>2</sup>

Fluidez	Consistencia de morteros.	Propiedad física	Agua		
			Diámetro promedio del mortero	ml	
Compresión	Máxima resistencia de carga axial por unidad de área.	Propiedad mecánica	Plasticidad del material		%
			Área probeta		mm <sup>2</sup>
			Carga de rotura		N
			Resistencia de espécimen		MPa

### 3.2. Diseño de investigación

Será un diseño experimental, por lo que existe una situación de control en la cual se manipula de manera intencional; y unifactorial, porque nos permite identificar y evaluar una variables independiente y 6 variables dependientes.

**Tabla 19.** Diseño experimental unifactorial

		Análisis						
		A	B	C	D	E	F	
% Reemplazo	0%	a1	Aa1	Ba1	Ca1	Da1	Ea1	Fa1
	5%	a2	Ab2	Ba2	Ca2	Da2	Ea2	Fa2
	10%	a3	Ab3	Ba3	Ca3	Da3	Ea3	Fa3
	15%	a4	Ab4	Ba4	Ca4	Da4	Ea4	Fa4
	20%	a5	Ab5	Ba5	Ca5	Da5	Ea5	Fa5

**3.3. Unidad de estudio:** Cemento portland tipo I con escoria de zinc.

**3.4. Población:** Todas las muestras elaboras a base de; agua destilada, arena de ottawa, cemento portland tipo I y escoria de zinc; ensayadas en densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión, en Trujillo 2018.

**Tabla 20.** Número de ensayos totales

			Ensayos									
			Densidad	Finura	Fraguado	Expansión	Fluidez	Compresión				
			b1	b2	b3	b4	b5	1 día	3 días	7 días	28 días	
			b6	b7	b8	b9						
Sustitución	0%	a1	a11b1	a11b2	a11b3	a11b4	a11b5	a11b6	a11b7	a11b8	a11b9	
		a12	a12b1	a12b2	a12b3	a12b4	a12b5	a12b6	a12b7	a12b8	a12b9	
		a13	a13b1	a13b2	a13b3	a13b4	a13b5	a13b6	a13b7	a13b8	a13b9	
	5%	a2	a21b1	a21b2	a21b3	a21b4	a21b5	a21b6	a21b7	a21b8	a21b9	
		a22	a22b1	a22b2	a22b3	a22b4	a22b5	a22b6	a22b7	a22b8	a22b9	
		a23	a23b1	a23b2	a23b3	a23b4	a23b5	a23b6	a23b7	a23b8	a23b9	
	10%	a3	a31	a31b1	a31b2	a31b3	a31b4	a31b5	a31b6	a31b7	a31b8	a31b9

		a32	a32b1	a32b2	a32b3	a32b4	a32b5	a32b6	a32b7	a32b8	a32b9
		a33	a33b1	a33b2	a33b3	a33b4	a33b5	a33b6	a33b7	a33b8	a33b9
15%	a4	a41	a41b1	a41b2	a41b3	a41b4	a41b5	a41b6	a41b7	a41b8	a41b9
		a42	a42b1	a42b2	a42b3	a42b4	a42b5	a42b6	a42b7	a42b8	a42b9
		a43	a43b1	a43b2	a43b3	a43b4	a43b5	a43b6	a43b7	a43b8	a43b9
20%	a5	a51	a51b1	a51b2	a51b3	a51b4	a51b5	a51b6	a51b7	a51b8	a51b9
		a52	a52b1	a52b2	a52b3	a52b4	a52b5	a52b6	a52b7	a52b8	a52b9
		a53	a53b1	a53b2	a53b3	a53b4	a53b5	a53b6	a53b7	a53b8	a53b9
<b>Sub total</b>			15	15	15	15	15	15	15	15	15
<b>Total</b>						135					

### 3.5. Muestra.

Para esta investigación se realizó un muestreo no probabilístico por conveniencia, porque cada elemento de la población no tiene la misma probabilidad de pertenecer a la muestra, los cuales tendrán un muestreo por conveniencia en base a nuestro criterio como investigador.

La cantidad de escoria de zinc varía de la siguiente manera (0%,5%,10%,15%,20%) y se realizaran ensayos de densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión (1, 3, 7, 28 días). Se consigue 3 réplicas por estudio preliminar, la muestra se representa es de la siguiente manera:

$$\text{N}^\circ \text{muestras} = \text{V.I} \times \text{V.D.} \times \text{n}^\circ \text{ ensayos}$$

$$\text{N}^\circ \text{muestras} = 1(5) \times 1(7) \times 3$$

$$\text{N}^\circ \text{muestras} = 105$$

$$\text{N}^\circ \text{ ensayos} = \text{V.I} \times \text{V.D.} \times \text{n}^\circ \text{ replicas}$$

$$\text{N}^\circ \text{ ensayos} = 1(5) \times 1(9) \times 3$$

$$\text{N}^\circ \text{ ensayos} = 135$$

V.I = Variable independiente

V.D = Variable dependiente

### 3.6. Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

#### 3.6.1. Técnica de recolección de datos

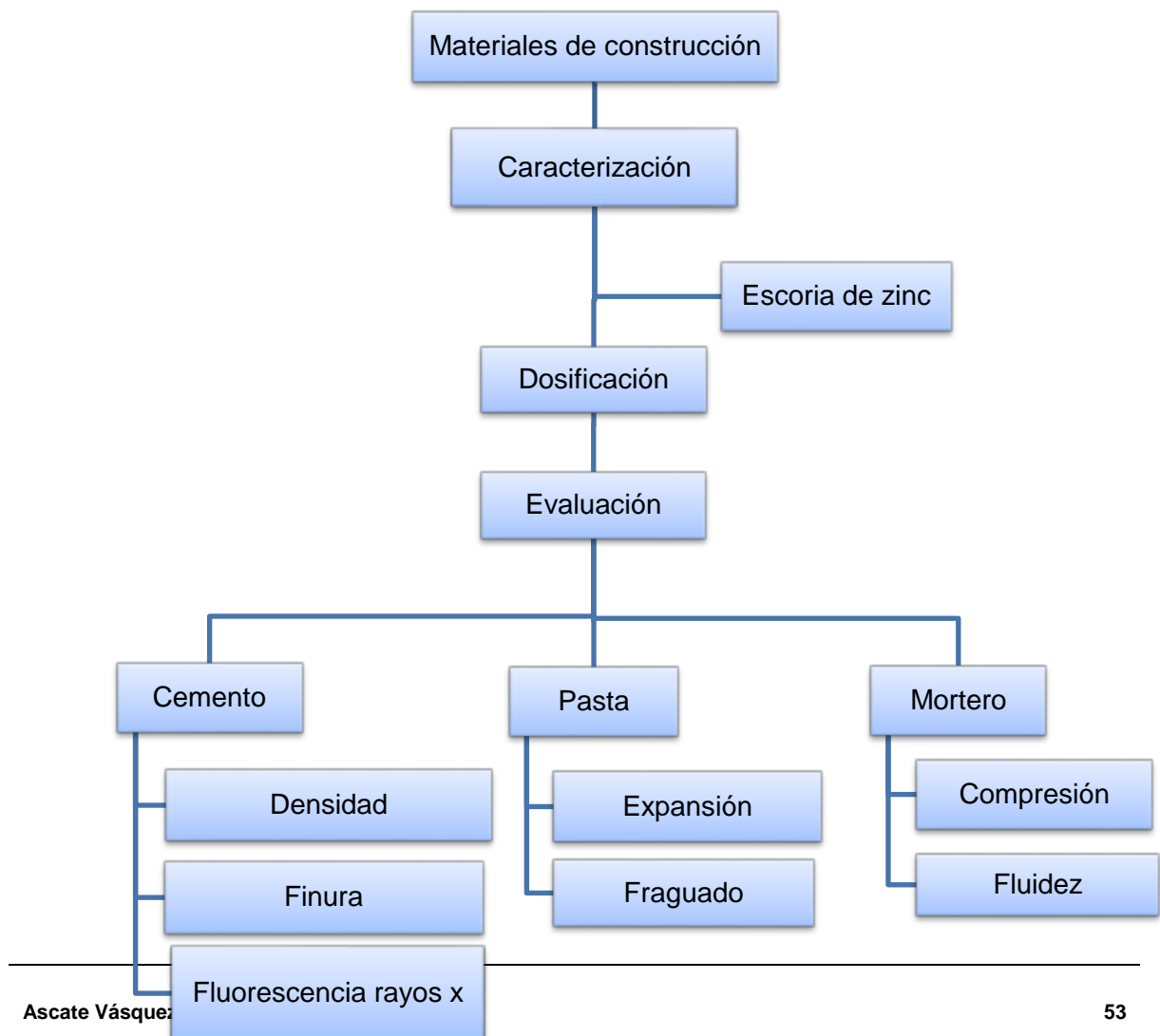
La técnica escogida para la recopilación de datos del presente proyecto será la de observación porque nos permite analizar los cambios que puede producir la adición de escoria.

### 3.6.2. Instrumento de recolección de datos

La técnica de observación se realizara mediante el uso del instrumento de guía de observación, por lo que nos ayudara a descubrir y asimilar la información, tomando registro de ciertos fenómenos producidos a través de este instrumento. Para el análisis de datos se realizaran gráficos estadísticos para su mejor manipulación, puesto que procede a racionalizar los datos recaudados con el propósito de explicar las posibles relaciones que expresan las variables estudiadas, para ello se optará por un análisis univariado, que consiste en el análisis de cada una de las variables estudiadas por separado, es decir, el análisis está basado en una sola variable. El análisis de datos proporcionará innumerables beneficios a través de datos estadísticos cuantitativos que permiten procesar y presentar la información de manera organizada y resumida.

### 3.6.3. Procedimientos de recolección de datos.

El siguiente diagrama de flujo representa el proceso experimental realizado para la investigación:



### 3.6.3.1. Materiales de construcción.

Debido a que en esta investigación se requiere evaluar la influencia de la sustitución de cemento portland por escoria de zinc, es necesario utilizar materiales de construcción que no contengan adiciones.

#### 3.6.3.1.1 Cemento portland tipo I

Se utilizó un cemento portland tipo I, el cual es para uso general que no requiera propiedades especiales, ya que este no contiene adiciones diferente de yeso y clinker; con el fin de ver el comportamiento de la escoria de zinc junto al cemento. Por lo tanto se utilizó cemento portland tipo I de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A., según sus especificaciones técnicas (Anexo 4) nos da una resistencia a compresión de 39.8 MPa a los 28 días y una densidad de 3.08 g/cm<sup>3</sup> (NTP 334.090, 2013).

#### 3.6.3.1.2 Arena ottawa

La NTP 334.097 establece como requisito utilizar la arena normalizada de ottawa para el uso en ensayos de cementos, la que es utilizada en ensayos de morteros así como resistencia a la compresión y fluidez. Sus especificaciones se encuentran en el Anexo 3. La arena de ottawa tiene las siguientes características granulométricas determinadas en la Figura 7 (Maureira, 2012).

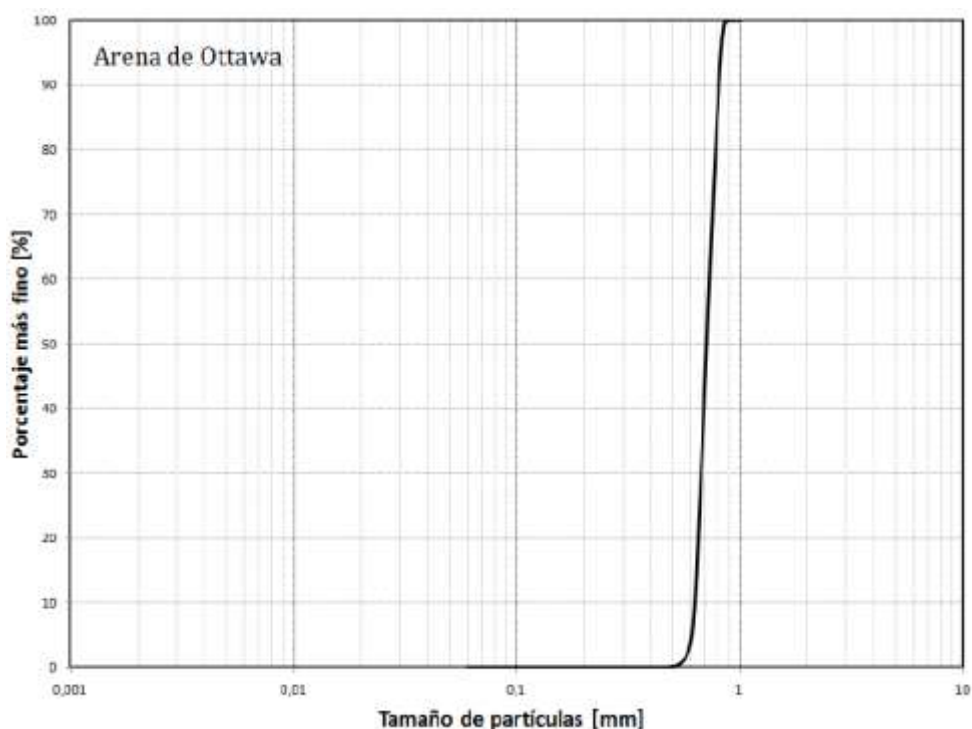


Figura 7 .Curva granulométrica de la arena de ottawa. (Maureira, 2012)

La arena de ottawa de acuerdo a su clasificación USCS, corresponde a una arena SP (pobrementemente graduada). En la siguiente tabla 21 se muestra las densidades máximas y mínimas (Maureira, 2012).

**Tabla 21.** Caracterización granulométrica e índice de vacíos de la arena ottawa. (Maureira, 2012)

Caracterización granulométrica	Tamaño máximo, $d_{100}$ (mm)	0.93
	Tamaño medio, $d_{50}$ (mm)	0.71
	Coefficiente de uniformidad, $C_u$	1.17
	Coefficiente de curvatura, $C_c$	0.99
	Contenido de finos, (%)	0.00
Índice de vacíos	Gravedad específica de los sólidos, $G_s$	2.65
	Índice de vacíos máximos, $e_{máx.}$	0.723
	Índice de vacíos mínimos, $e_{mín.}$	0.507

### 3.6.3.1.3 Agua destilada

El agua que se utilizó para la preparación de pastas y morteros fue agua destilada, controlada a una temperatura de  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , ya que mediante el proceso de destilación se han eliminado impurezas y sales disueltas, quedando un líquido transparente, incoloro, inoloro y miscible, por lo que esta agua no presenta riesgos físicos ni químicos. Entre sus especificaciones (ver Anexo 5), podemos encontrar un pH de 5.4 (Fernández, 2011).

### 3.6.3.1.4 Escoria de zinc

Se muestreó 500 kilos de escoria de zinc de provenientes de la ciudad de Pacasmayo de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A., de los cuales por cuarteo se separó 50 kilos para la realización de los ensayos. Luego escoria fue secada en el estufa a  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  durante 24 horas, para evitar la adherencia de la escoria en los discos de pulverizado. Después se procedió a colocar la muestra seca en los discos de pulverización, para obtener escoria de partículas finas, asimismo la pulverizadora se programó para 180 segundos. Una vez obtenido el material pulverizado, se recolectó el material y se procedió a tamizar por la malla N° 325, para activar a la escoria por finura al incrementar su superficie específica (NTP 334.090, 2013).

### 3.6.3.2. Caracterización

#### 3.6.3.2.1 Ensayos a la escoria de zinc

##### a. Humedad (NTP 339.185)

Primero se pesó la tara (Pt). Luego se pesó una muestra representativa de escoria de zinc en estado natural (Ph), esta muestra se llevó a la estufa a una temperatura de 100°C +/- 5°C por 24 horas. Después de este tiempo, se tomó registro del peso seco de la muestra (Ps). También se tuvo en cuenta que la desviación estándar de los ensayos que no debe diferir en más de 0.79%, y se determinó el contenido de humedad con la siguiente expresión:

$$W = \left[ \frac{Ph - Ps}{Ps - Pt} \right] \times 100$$

Dónde:

W: Contenido de humedad (%)

Pt: Peso de tara (g).

Ph: Peso húmedo de la muestra con tara (g).

Ps: Peso seco del material con tara (g).

**Tabla 22.** Contenido de humedad la de escoria de zinc.

Recipiente N° :	Cantidad
Peso escoria húmedo + recipiente (g)	
Peso escoria seco + recipiente (g)	
Peso de recipiente (g)	
Peso escoria húmedo (g)	
Peso escoria seco (g)	
Humedad (%)	

##### b. Granulometría (NTP 400.012)

Se tomó 2000 g de escoria de zinc, luego se colocó la muestra en la estufa a una temperatura de 110 °C +/- 5 °C hasta peso constante. Después se seleccionó los tamices de 3", 2" ,1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100, N°200, fondo o malla ciega, también se registró el peso de cada malla (P<sub>m</sub>) y se encajó en orden de abertura decreciente desde la malla con mayor abertura hasta el fondo o malla ciega, para luego colocar la muestra sobre el tamiz superior agitando los tamices manualmente por un período de 5 minutos.

Luego se registró los pesos de cada malla con escoria tamizada retenida (P<sub>me</sub>), para proceder a graficar la curva granulométrica de la siguiente manera.



$$P_r = P_{me} - P_m$$

$$P_{rp} = \frac{P_r}{P_t} \times 100$$

$$P_{ra1} = P_{rp1}$$

$$P_{ra2} = P_{rp1} + P_{rp2}$$

$$P_{ran} = P_{rp1} + P_{rp2} + \dots + P_{rpn}$$

$$P_p = 1 - P_{ra}$$

$$M_f = \frac{\sum \text{Porcentaje retenido acumulado}}{100}$$

Dónde:

$P_{me}$  = Peso de cada malla con escoria (g).

$P_m$  = Peso de cada malla (g).

$P_r$  = Peso retenido (g).

$P_{rp}$  = Peso retenido parcial (%).

$P_{ra}$  = Peso retenido acumulado (%).

$P_p$  = Porcentaje que pasa (%).

$M_f$  = Módulo de finura

**Tabla 23.** Análisis granulométrico de la escoria de zinc.

Tamiz estándar	Abert. (mm)	$P_r$ (g)	% $P_{rp}$ (%)	% $P_{ra}$ (%)	% $P_p$ (%)	Huso	
						Valores	
						Mínimo	Máximo
3"	75.000					100	100
2"	50.000					100	100
1 1/2"	37.500					100	100
1"	25.000					100	100
3/4"	19.000					100	100
1/2"	12.500					100	100
3/8"	9.500					100	100
Nº 4	4.750					95	100
Nº 8	2.360					80	100
Nº 16	1.180					50	85
Nº 30	0.600					25	60
Nº 50	0.300					5	30
Nº 100	0.150					0	10
Nº 200	0.075					0	5
Fondo	-						

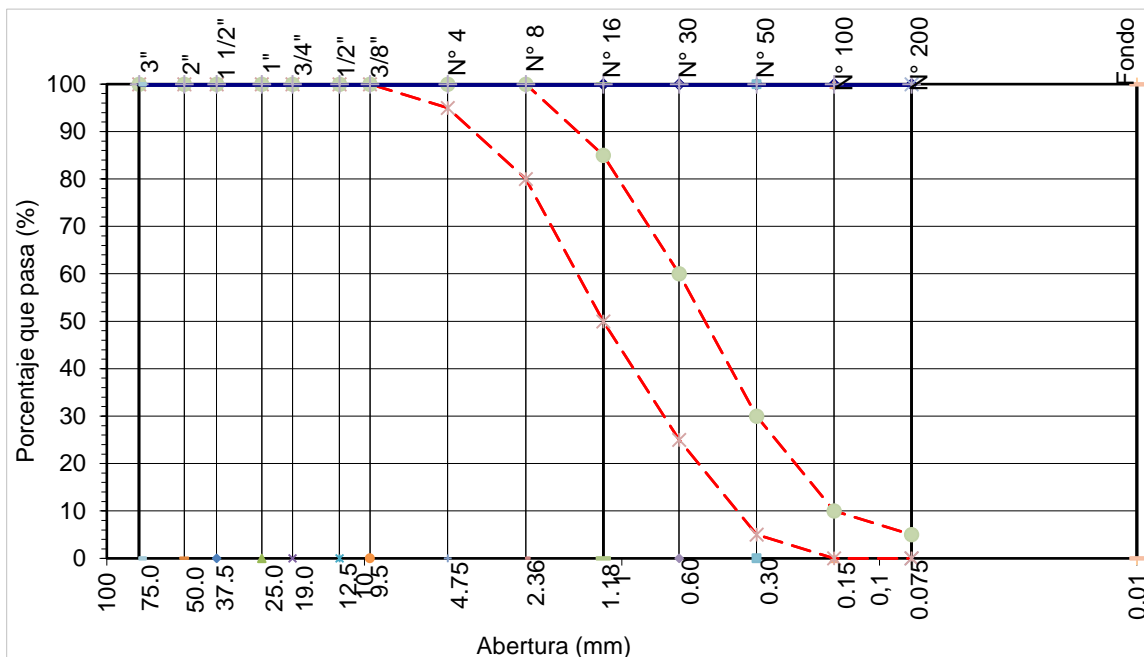


Figura 8. Huso granulométrico de arena fina

### c. Densidad (NTP 334.005)

Primero se verificó que el frasco Le chatelier se encuentre limpio, luego se vertió diésel B5 previamente filtrado, dentro del frasco hasta que estuvo entre las marcas 0.5 y 1 ml. Se sumergió el frasco en un baño de agua a temperatura constante, para luego registrar la lectura de la escala como valor inicial ( $L_i$ ).

Se pesó 60 g de escoria previamente pulverizada ( $M_e$ ) y se introdujo en pequeñas cantidades para evitar que la escoria se pegue en las paredes del frasco y a su vez dificulte la lectura final debido a su color. Después se colocó el tapón en el frasco y se homogenizó dando giros horizontales y luego se colocó por 20 segundos al ultrasonido para evitar la formación de burbujas de aire sobre el nivel del líquido. Luego se colocó la muestra por 45 minutos a temperatura constante, se retiró el frasco y se observó en la escala superior el nivel que alcanza el líquido registrándose la lectura como valor final ( $L_f$ ), también se tuvo en cuenta la desviación estándar para la densidad en  $0.03 \text{ g/cm}^3$ , y para el cálculo de la densidad se utilizó la siguiente fórmula.

$$\rho = \frac{M_e}{L_f - L_i}$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad ( $\text{g/cm}^3$ )

$M_e$  = Masa de la escoria (g).

$L_f$  = Lectura final en el frasco de chatelier ( $\text{cm}^3$ )

$L_i$  = Lectura inicial en el frasco de chatelier ( $\text{cm}^3$ )

**Tabla 24.** Densidad de la escoria de zinc.

Masa (g)
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )
Lectura final (cm <sup>3</sup> )
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )

**d. Actividad puzolánica (NTP 334.066)**

Primero se secó 1 kg de muestra a 110 °C +/- 5 °C, hasta peso constante. Luego se pulverizó la muestra a un tamaño que el retenido N° 325 por vía húmeda sea menor al 20%. Después se realizó la densidad del cemento patrón (D<sub>cp</sub>) así como de la escoria (D<sub>e</sub>). Se preparó el mortero con escoria pesando 481 g de cemento, 2035 g de arena de ottawa, “E” gramos de escoria de zinc, y “X” gramos de agua.

$$E = 259 \times \frac{D_e}{D_{mp}}$$

Dónde:

E = Escoria de zinc (g)

D<sub>e</sub> = Densidad de la escoria (g/cm<sup>3</sup>)

D<sub>cp</sub> = Densidad del cemento patrón (g/cm<sup>3</sup>)

Luego se mezcló el cemento con la escoria hasta obtener un color y distribución de partículas uniforme, se realizó el mezclado con las velocidades y tiempo establecidos para la preparación de morteros según la norma NTP 334.051. De la misma forma se realizó el mortero patrón utilizando 740 g de cemento, 2035 g de arena de ottawa y “X” g de agua. Después se realizó el ensayo de fluidez de la mezcla en base a la NTP 334.057 hasta obtener una fluidez de 100% y 115% en la meza de flujo. Luego se realizó el llenado de los compartimientos cúbicos de los moldes, iniciando antes de 150 segundos contados desde que se terminó de batir el mortero. Primero se colocó una capa de mortero de 25 mm de espesor en cada compartimiento y se compactó dando 32 golpes a cada uno con la ayuda de un apisonador según norma, después se siguió con la segunda capa y se compactó como se hizo con la primera. Al finalizar la compactación con la ayuda de un bablejo se alisó la superficie de los cubos quitando el mortero en exceso. Luego se colocó los moldes con los cubos en la cámara húmeda por 24 horas con humedad relativa mayor a 95% y a una temperatura mayor a 23 °C +/- 2°C. Seguidamente estos morteros se llevaron a un curado especial como indica la norma a una temperatura constante de 38 °C.

Después se rompieron los morteros a edades específicas, para luego verificar el cumplimiento del rango máximo permisible de 8.7 MPa a 1 día, 7.6 MPa para 3, 7, 28

días, y coeficiente de variación máxima de 2.1 para todas las edades. Por último se calculó el índice de actividad puzolánica (IAP) usando la siguiente fórmula.

$$IAP = \frac{A}{B} \times 100$$

Dónde:

IAP = Índice de actividad puzolánica (%)

A = Resistencia promedio de mortero adicionado.

B = Resistencia promedio del mortero patrón.

**Tabla 25.** *Actividad puzolánica de la escoria de zinc.*

	Índice de Días puzolanidad (%)
	1
	3
IAP	7
	28

#### e. Fluorescencia rayos x (NTP 334.169)

Primero se secó la escoria a peso constante a 110°C +/- 5°C de temperatura para evitar la adherencia de la escoria en las paredes de los discos. Inmediatamente se vació en el recipiente de discos de la pulverizadora para obtener una finura similar a la del cemento. Se recolectó la muestra pulverizada utilizando 14 g de escoria y se mezcló con 1 g de cera. Luego se aspiró la prensadora para evitar contaminación y se programó la prensa para emitir una fuerza de 150 KN. Después se retiró la muestra prensada llamada pastilla y se pasó al laboratorio de rayos x para su posterior análisis.

**Tabla 26.** *Fluorescencia de rayos x de la escoria de zinc.*

Composición mineralógica	Cantidad (%)
Elemento 01	
Elemento 02	
Elemento 03	

### 3.6.3.2.2 Ensayos en cemento con escoria de zinc

#### a. Densidad (NTP 334.005)

Se verificó que el frasco Le chatelier se encuentre limpio, luego se vertió diésel B5 previamente filtrado, dentro del frasco hasta que estuvo entre las marcas 0.5 y 1 ml. Se sumergió el frasco en un baño de agua a temperatura constante, para luego registrar la lectura de la escala como valor inicial ( $L_i$ ).

Se pesó 64 g de cemento ( $M_c$ ) y se introdujo en pequeñas cantidades para evitar que el cemento se pegue en las paredes del frasco. Después se colocó el tapón en el frasco y se homogenizó dando giros horizontales y luego se colocó por 20 segundos al ultrasonido para evitar la formación de burbujas de aire sobre el nivel del líquido.

Luego se colocó la muestra por 45 minutos a temperatura constante, se retiró el frasco y se observó en la escala superior el nivel que alcanza el líquido registrándose la lectura como valor final ( $L_f$ ). También se respetó la desviación estándar de 0.03 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) y para el cálculo de la densidad se utilizó la siguiente fórmula.

$$\rho = \frac{M_c}{L_f - L_i}$$

Dónde:

$\rho$  = Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$M_c$  = Masa del cemento (g)

$L_f$  = Lectura final en el frasco de chatelier ( $\text{cm}^3$ )

$L_i$  = Lectura inicial en el frasco de chatelier ( $\text{cm}^3$ )

**Tabla 27.** Densidad del cemento con escoria de zinc.

Muestra	Masa (g)	L. Inicial ( $\text{cm}^3$ )	L. Final ( $\text{cm}^3$ )	Densidad ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
0%				
5%				
10%				
15%				
20%				

### b. Finura (NTP 334.002)

Se determinó la masa de la muestra (W)

$$W = \rho \times V \times (1 - \varepsilon)$$

Dónde:

W = Masa de la muestra requerida (g)

$\rho$  = Densidad de la muestra (g/cm<sup>3</sup>)

V = Volumen de celda (cm<sup>3</sup>)

$\varepsilon$  = Porosidad requerida

Se tomó una muestra de cemento y se homogenizó vaciando una cantidad considerable en un frasco sin contaminación para cada diseño y así deshacer los grumos. Luego se pesó la muestra calculada en base a la densidad, volumen y porosidad requerida. Después se preparó el tubo de permeabilidad y disco perforado limpiándolo de cualquier posible contaminante con una escobilla o pincel. Se introdujo por la parte superior del tubo de permeabilidad el disco perforado hasta que se asentó en el reborde inferior de este, se colocó un disco de papel filtro sobre el disco perforado, luego se presionó suavemente hacia abajo el disco de papel filtro con la ayuda de un pincel, asegurándonos que quede completamente apoyado sobre el disco perforado.

Después se colocó el embudo en la parte superior del tubo de permeabilidad y se vació la cantidad de cemento correspondiente a cada diseño en el tubo de permeabilidad, se retiró el embudo y se colocó el segundo filtro evitando que salga la muestra agregada. Se comprimió, utilizando el embolo de acero inoxidable hasta que el reborde de este asentó en la parte superior del tubo y luego se retiró lentamente el embolo, se colocó el tubo de permeabilidad en la parte superior del manómetro verificando tener una conexión hermética, luego se presionó la bombilla de jebe del equipo y se giró suavemente la llave de cierre y liberando lentamente la presión en la bombilla para elevar el líquido hasta alcanzar la marca superior o primera marca, después se cerró la llave.

Se puso en marcha el cronometro, al momento que llegó a la segunda marca y se paró cuando llegó a la tercera marca, tomando el tiempo transcurrido (T). Asimismo, se calculó los rangos máximos permisibles de 3.4% y coeficiente de variación máxima de 1.2%, también se calculó la superficie específica con la siguiente fórmula.

$$S = S_s \frac{\sqrt{T}}{\sqrt{T_s}}$$

Dónde:

S = Superficie específica (cm<sup>2</sup>/g).

S<sub>s</sub> = Superficie específica según instituto nacional de estándares y tecnología (NIST).

t = Tiempo de permeabilidad (s).

t<sub>s</sub> = Tiempo de permeabilidad según NIST (s).

**Tabla 28.** Finura del cemento con escoria de zinc.

Muestras	1	2	3
Blaine estándar	S <sub>s</sub>		
Densidad estándar	ρ <sub>s</sub>		
Factor b del estándar	b <sub>s</sub>		
Porosidad estándar	ε <sub>s</sub>		
Tiempo del estándar	t <sub>s</sub>		
Densidad muestra	ρ		
Factor b de la muestra	b		
Porosidad muestra	ε		
Tiempo de muestra	t <sub>m</sub>		
	a=		
	b=		
	Blaine		

### c. Fluorescencia rayos x (NTP 334.169)

Una vez obtenido el cemento, se tuvo especial cuidado de evitar la meteorización. Se recolectó la muestra utilizando 14 g de cemento y se mezcló con 1 g de cera. Luego se aspiró la prensadora para evitar contaminación y se programó la prensa para emitir una fuerza de 150 KN. Después se retiró la muestra prensada llamada pastilla y se pasó al laboratorio de rayos x para su posterior análisis.

**Tabla 29.** Fluorescencia rayos x del cemento con escoria de zinc.

Muestra	Elemento 01	Elemento 02	Elemento 03	Elemento 04
0%				
5%				
10%				
15%				
20%				

### 3.6.3.2.3 Ensayos en pastas con escoria de zinc

#### a. Fraguado (NTP 334.006)

Se pesó 650 g de cemento y se pesó el agua para cada diseño, luego se vertió el agua de mezclado en el recipiente y se agregó cemento al agua dejándolo reposar por 30 segundos, pasado el tiempo se mezcló durante 30 segundos a velocidad lenta, después se dejó la mezcla durante 15 segundos quitando la pasta adherida en el recipiente de mezcla con la espátula. Finalmente se continuó con el mezclado por un 1 minuto a velocidad media. Rápidamente se tomó la pasta preparada y se formó una masa esférica con los guantes de goma, esta masa se arrojó 6 veces de una mano a otra manteniendo una separación de 15 centímetros. Luego esta masa esférica fue introducida a presión por el anillo tronco cónico de mayor abertura hasta que se llenó el molde completamente con la pasta retirándose el exceso de pasta con la mano.

Se colocó el anillo con el extremo mayor sobre un vidrio y se cortó el otro extremo con una sola pasada de la espátula sin presionar. Después se fijó la muestra preparada en el centro de la base del equipo vicat y se determinó la consistencia normal (10 mm +/-1 mm a los 30 segundos de haber sido liberado el vástago) y se mantuvo el conjunto formado por la pasta y el anillo, para luego ser llevado a la cámara humedad durante 30 minutos sin perturbarla y se expuso a un ambiente con humedad relativa mayor al 95%.

Pasado ese tiempo se centró debajo del vástago que contiene a la aguja vicat, haciendo descender hasta que el extremo de la aguja vicat tomó contacto con la pasta. Luego se fijó y se colocó el marcador en 0, luego se soltó y tomó la medida, cada cierto tiempo hasta que la profundidad de la aguja ingresó a 25 mm registrando el tiempo transcurrido como tiempo de fraguado inicial para todos los diseños ( $f_i$ ). Posteriormente se volvió la aguja a la posición original y se repitió la operación hasta que la aguja no deje marca visible en la superficie de la muestra registrándolo como tiempo de fraguado final ( $f_f$ ). Para ambos casos se calculó la desviación estándar establecida en 12 minutos para el fraguado inicial y 20 minutos para fraguado final.

**Tabla 30.** Fraguado de la pasta de cemento con escoria de zinc.

Muestra	Émbolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora	Hora inicio	Penetración de aguja (mm)	F. inicial (min)	F. Final (min)
0%							
5%							
10%							
15%							
20%							



#### **b. Expansión (NTP 334.004)**

Una vez que se preparó la pasta y se determinó el procedimiento de consistencia normal, se utilizó esta mezcla para el llenado de las probetas de autoclave, estas se llenaron en dos capas aproximadamente iguales presionando la pasta con los dedos pulgares o índice para obtener un llenado lo más perfecto posible. Luego se alisó la cara superior con un pase de espátula al ras del molde, se colocó los moldes en la cámara húmeda por 24 horas con las caras superficiales expuestas al ambiente con una humedad relativa mayor al 95%. Después se retiró los especímenes para tomar las longitudes iniciales de las probetas de ensayo con el comparador de longitudes ( $L_i$ ), se colocó el soporte en la cámara del autoclave y se llenó con 1 litro de agua, luego se tapó e inició el calentamiento del autoclave, se abrió la válvula de escape para expulsar el aire hasta que comenzó a salir vapor inmediatamente se cerró la válvula completamente, y se esperó entre 45 y 75 minutos hasta que la presión se incrementó hasta que se alcanzó los 295 Psi + 10 Psi.

Se mantuvo la misma presión durante las 3 horas siguientes. Al término de este plazo se suprimió el calentamiento y se enfrió la autoclave al cabo de 90 minutos donde la presión manométrica bajó a 10 Psi. Se abrió la válvula de escape lentamente hasta que la presión residual (10 Psi) salió y alcanzó la presión atmosférica, luego se destapó la autoclave y se retiró los especímenes. Después se colocó los especímenes en agua con una temperatura de 90°C y se adicionó agua fría de manera uniforme hasta que se bajó la temperatura a 23 °C en 15 minutos, luego se retiró del agua y secó los especímenes y se procedió a medir la longitud en el equipo comparador de longitudes ( $L_f$ ). Para el cálculo de la expansión se expresa la variación de longitud como porcentaje respecto de la longitud nominal de la probeta de ensayo utilizando la siguiente formula. También se tuvo en cuenta la desviación estándar establecida en la norma de referencia en 0.07% y para el cálculo de la expansión que expresa la variación de longitud como porcentaje respecto de la longitud nominal de la probeta de ensayo utilizando la siguiente formula.

$$E = \frac{(L_f - L_i)}{10} \times 100$$

Dónde:

E = Expansión (%)

$L_f$  = Lectura final (in)

$L_i$  = Lectura inicial (in)

**Tabla 31.** Autoclave de la pasta de cemento con escoria de zinc.

Porcentaje	L. Inicial (in)	L. Final (in)	Expansión (%)
0%			
5%			
10%			
15%			
20%			

### 3.6.3.2.4 Ensayos a morteros con escoria de zinc

#### a. Fluidez (NTP 334.057)

Para el mortero patrón se pesó 740 g de cemento tipo I, 2035 g de arena de ottawa y 359 g de agua según norma; para el diseño con escoria se utilizó la cantidad de agua que produzca una fluidez de 110% +/- 5% (NTP 334.051). Luego se vertió el agua al recipiente, luego se agregó el cemento al agua y mezcló el contenido del recipiente durante 30 segundos a velocidad lenta, pasado este periodo se agregó en un periodo de 30 segundos la totalidad de la arena mientras continuaba con el mezclado a velocidad lenta. Después se cambió a velocidad media y se mezcló por 30 segundos más. Inmediatamente se detuvo la mezcladora para realizar la limpieza por 15 segundos con la espátula sacando el mortero adherido a las paredes del recipiente y se dejó el mortero reposando durante 75 segundos. Finalmente, pasado el tiempo de reposo se mezcló durante 60 segundos a velocidad media (NTP 334.003).

Previo a la preparación de mortero, se limpió la plataforma de la mesa de flujo, para luego colocar el anillo de cono trunco exactamente en el centro. Después se colocó una capa de mortero de aproximadamente 25 mm de espesor en el molde y se compactó con 20 golpes con el apisonador. Seguidamente se llenó el molde con una segunda capa de mortero compactando con el apisonador como se especificó en el paso anterior. Prontamente se retiró el exceso de mortero con un pase de espátula o badilejo por la parte superior del molde.

Luego se quitó el molde con un movimiento vertical dejando solo el mortero e inmediatamente se dejó caer la mesa a una altura de 13 mm 25 veces en 15 segundos. Una vez ya terminado el proceso y con la ayuda de un calibrador se determinó la fluidez midiendo el diámetro del mortero deformado por los golpes teniendo de referencia las líneas marcadas en la mesa de flujo. Después se determinó la fluidez registrando y sumando las cuatro lecturas marcadas en el calibrador. También se verificó el cumplimiento de la desviación estándar de las muestras, ya que no deben exceder el 4% que se encuentra establecido en la NTP.

$$F = L_1 + L_2 + L_3 + L_4$$

Dónde:

- F = Fluidez (%)
- L<sub>1</sub> = Longitud 1(mm)
- L<sub>2</sub> = Longitud 2(mm)
- L<sub>3</sub> = Longitud 3(mm)
- L<sub>4</sub> = Longitud 4(mm)

**Tabla 32.** Fluidez del mortero con escoria de zinc.

	L1 (mm)	L2 (mm)	L3 (mm)	L4 (mm)	Fluidez (%)
0%					
5%					
10%					
15%					
20%					

#### **b. Resistencia a la compresión (NTP 334.051)**

Luego de realizar la fluidez se pasó al llenado de los compartimientos cúbicos del molde, se inició antes de 150 segundos contados desde que se terminó de batir el mortero. Primero se colocó una capa de mortero de 25 mm de espesor en cada compartimiento y se compactó dando 32 golpes a cada uno con la ayuda de un apisonador según norma, después se siguió con la segunda capa y se compactó como se hizo con la primera. Al finalizar la compactación con la ayuda de un babilajo se alisó la superficie de los cubos quitando el mortero en exceso. Luego se colocó los moldes con los cubos en la cámara húmeda por 24 horas con humedad relativa mayor a 95% y a una temperatura mayor a 23°C +/-2°C.

Pasado este tiempo se desmoldó y se rompió tres morteros a un día y el resto de cubos fueron colocados a la poza de curado saturados en hidróxido de calcio por 3, 7 y 28 días. Para rupturas de todos los especímenes se respetó las tolerancias establecidas por la norma en cuanto a la hora y lo establecido en base al rango máximo permisible de 8.7 MPa a 1 día, 7.6 MPa para 3, 7, 28 días, y coeficiente de variación máxima de 2.1 para todas las edades.

**Tabla 33.** Tolerancias permisibles para ruptura de morteros (NTP 334.051).

Edad del cubo	Tolerancia permisible
24 horas	+/- ½ hora
3 días	+/- 1 hora
7 días	+/- 3 horas
28 días	+/- 12 horas
90 días	+/- 24 horas

Un vez curado los morteros a edades específicas, se colocó los especímenes cuidadosamente en la máquina de ensayo verificando que se deslice libremente en la superficie de ensayo, no se colocó amortiguadores entre el espécimen y la superficie de ensayo de la máquina de pruebas. Por último se registró tres lecturas del indicador de presión de los cubos tanto en Psi y en MPa.

$$f_m = \frac{P}{A}$$

Dónde:

$f_m$  = Resistencia a compresión en MPa.

P = Carga máxima total en N.

A = Superficie de carga en mm<sup>2</sup>.

**Tabla 34.** Compresión de morteros con escoria de zinc.

Muestra	Días	Nº Probeta	Medidas	
			Resistencia (Psi)	Resistencia (MPa)
	1			
	3			
<b>Porcentaje</b>	7			
	28			

### 3.7. Procedimientos de análisis de datos

Los resultados obtenidos durante los ensayos de cemento, pasta y mortero se analizarán para rechazar o aceptar la hipótesis planteada mediante un análisis de varianza. Al ser un estudio transversal paramétrica con el Anova unifactorial donde:

$H_0$  = Las medias de los "K" grupos son todos iguales

$H_1$  = Al menos una de las medias es diferente

### A. Nivel de significancia

La significancia se trabaja con un 95 % como nivel de confianza ( $\alpha = 0.05$ ), debido a que es un nivel de confianza habitual en investigaciones experimentales, y es un compromiso entre formular premisas con la probabilidad de acertar.

### B. Criterio de rechazo

La hipótesis alterna ( $H_1$ ) se acepta si  $F > F_{\alpha, (n-1), (n(r-1))}$

- F se obtiene experimentalmente.
- $F_{\alpha, (n-1), (r-3)}$  se obtiene mediante tablas estadísticas.

Dónde:

n = número de niveles.

r = número de réplicas.

### C. Cálculo de la suma de cuadrados.

$$SCE = \sum_{j=1}^r n_j (\bar{x}_j - \bar{x}_{..})^2$$

$$SCD = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^r n_j \bar{x}_j^2$$

$$SCT = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$$

Dónde:

SCE = Suma de cuadrados entre grupos

SDE = Suma de cuadrados dentro de grupos

SCT = Suma de cuadrados totales

### D. Grados de libertad

$$GLE = r-1$$

$$GLD = n-r$$

$$GLT = n-1$$

Dónde:

GLE = Grado de libertad entre grupos

GLD = Grado de libertad dentro de grupos

GLT = Grado de libertad totales

### E. Cálculo de cuadrados medios

$$CME = \frac{SCE}{GLE}$$

$$CMD = \frac{SCD}{GLD}$$

### F. Estadístico de contraste F

$$F = \frac{CME}{CMD}$$

### G. Cálculo de coeficiente de determinación

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT}$$

### H. Tabla anova unifactorial

**Tabla 35.** Resumen de tabla anova unifactorial

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F – (exp)	F - teórico
Entre grupos	SCE	GLE	CME	F	P
Dentro grupos	SCD	GLD	CMD		
Total	SCT	GLT			

## CAPITULO 4. RESULTADOS

### 4.1. Caracterización de escoria de zinc

*Tabla 36. Caracterización de la escoria de zinc.*

Ensayo	Resultado	NTP
Humedad (%)	3.0	339.185
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.7	334.005
Módulo de finura	4.0	400.012
Índice de actividad puzolánica (%)	1 día	64
	3 días	77
	7 días	84
	28 días	88
		334.066

*Tabla 37. Composición mineralógica por fluorescencia rayos x de escoria de zinc.*

Componentes	Porcentaje	Componentes	Porcentaje	Componentes	Porcentaje
SiO <sub>2</sub>	28.2800	TiO <sub>2</sub>	0.5400	SrO	0.0134
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.2000	S	0.3210	Cl	0.0096
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.2100	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.1020	NiO	0.0084
CaO	11.9700	P	0.0975	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.0044
ZnO	3.3200	PbO	0.0604	CuO	0.0042
MgO	2.9400	BaO	0.0322	Rb <sub>2</sub> O	0.0031
K <sub>2</sub> O	1.1000	ZrO <sub>2</sub>	0.0273	MoO <sub>3</sub>	0.0025
MnO	0.6330	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.0189	LOI	20.1000

### 4.2. Ensayos de cemento con escoria de zinc

#### 4.2.1. Densidad y finura

*Tabla 38. Densidad y finura del cemento con escoria de zinc.*

	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Superficie específica (cm <sup>2</sup> /g)
0%	3.09	3580
5%	3.06	3680
10%	3.03	4060
15%	3.00	4360
20%	2.97	4660

#### 4.2.2. Fluorescencia rayos x

**Tabla 39.** Composición mineralógica por fluorescencia rayos x del cemento con escoria de zinc.

%	Óxidos compuestos									Componentes minerales					
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CL	FCaO	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
<b>0%</b>	20.87	4.51	2.93	59.40	2.52	0.71	0.16	2.64	0.04	0.39	7.21	41.19	28.76	6.99	8.92
<b>5%</b>	21.11	4.63	3.13	58.26	2.52	0.72	0.21	2.53	0.04	0.39	8.35	33.94	34.91	6.97	9.52
<b>10%</b>	21.30	4.76	3.34	57.12	2.53	0.74	0.26	2.44	0.04	0.39	8.98	26.94	40.74	6.96	10.16
<b>15%</b>	21.60	4.89	3.55	55.91	2.54	0.75	0.31	2.33	0.04	0.34	10.31	18.88	47.69	6.95	10.80
<b>20%</b>	21.82	5.02	3.76	54.71	2.54	0.77	0.38	2.24	0.04	0.33	11.48	11.40	53.96	6.94	11.44

#### 4.3. Ensayos en pasta con escoria de zinc

##### 4.3.1. Fraguado y expansión

**Tabla 40.** Fraguado y expansión de pasta con escoria de zinc

Muestra	F. Inicial (min)	F. Final (min)	Expansión (%)
<b>0%</b>	131	268	0.032
<b>5%</b>	139	278	0.040
<b>10%</b>	141	280	0.039
<b>15%</b>	144	281	0.035
<b>20%</b>	153	284	0.033



#### 4.4. Ensayos en mortero con escoria de zinc

##### 4.4.1. Fluidez y compresión

*Tabla 41. Fluidez y compresión del mortero con escoria de zinc.*

Muestra	Fluidez (%)	Días	Resistencia (Psi)	Resistencia (MPa)
0%	125.03	1	2300	15.8
		3	3980	27.5
		7	4810	33.2
		28	6010	41.5
5%	114.67	1	2420	16.7
		3	4230	29.2
		7	5080	35.0
		28	5980	41.2
10%	110.83	1	2170	14.9
		3	3790	26.2
		7	4760	32.8
		28	5900	40.7
15%	109.40	1	2140	14.7
		3	3630	25.0
		7	4700	32.4
		28	6180	42.6
20%	107.13	1	1920	13.2
		3	3480	24.0
		7	4420	30.5
		28	5500	37.9

## CAPITULO 5. DISCUSIÓN

El sector construcción viene a ser uno de los más dinámicos y hasta es considerado como el generador de la economía peruana, ya que la expansión del sector construcción va de la mano con muchas de las industrias (cemento, acero, ladrillo, asfalto, otros), demostrado a través del índice mensual de las actividad en el sector construcción (PBI de construcción), quien mide el dinamismo de sus actividades, donde éste sector participa con el 5.6 % del índice de la producción nacional, el cual viene subiendo su producción desde julio del 2017 sin ningún declive como se puede demostrar en la figura 9 (INEI, 2018).



**Figura 9.** Variación porcentual respecto a igual mes del año anterior

Esto es lo que nos lleva a tener una estabilidad de las principales variables macroeconómicas de la década, y esto genera a que comunidad internacional nos vean con más confianza para invertir en nuestro país. Entre las industrias con mejor inversión se encuentra la producción del cemento, el cual es el material principal para toda construcción de material noble, dentro de los cuales encontramos una gran variedad de cementos con diferentes tipos de adiciones como: puzolanas escorias y compuestos; los cuales buscan reducir costos, a través de proceso o productos final pero siempre manteniendo o mejorando la calidad del cemento. Unos de los productos que se está adicionando, son escorias, con lo que se busca reducir las escorias almacenadas de las diferentes industrias y reducir la contaminación ambiental que está generando. Motivo por el cual es conveniente evaluar el estudio de la escoria, especialmente la escoria de zinc la cual la encontramos en la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A., así como la influencia al sustituirla por cemento portland tipo I.



**Figura 10.** Escoria de zinc en Cemento Pacasmayo.

## 5.1. Caracterización de la escoria de zinc.

### 5.1.1. Contenido de humedad (NTP 339.185)

Se puede verificar que la escoria de zinc tiene un contenido de humedad 3.0%, esto quiere decir que consumirá más agua de mezcla, este elevado contenido de humedad se debe a su composición química y física de la escoria, ya que el hierro metálico presenta porosidades que actúa como un receptor de agua. Además, durante el muestreo de la escoria, esta se encontraba expuesta al medio ambiente con temperaturas variadas tanto en calor como en lluvia.

### 5.1.2. Densidad (NTP 334.005)

La densidad de la escoria pulverizada es de 2.70 g/cm<sup>3</sup>, revela un dato importante ya que según el centro de estudios y experimentación de obras públicas(CEDEX) de Madrid estas tienen una densidad de 2.63 g/cm<sup>3</sup>, por lo tanto la escoria de zinc tiene una densidad superior con respecto a otras escorias, pero menor que el cemento portland promedio de 3.11 g/cm<sup>3</sup>, esta es la razón por el cual al sustituir escoria de zinc por cemento portland tipo I pulverizada en diferentes proporciones redujo la densidad del cemento patrón y la resistencia del cemento, debido a que la escoria contienen mayor cantidad de óxidos a comparación del cemento que sobresalen los silicatos y aluminatos.

### 5.1.3. Granulometría (NTP 400.012)

Al hacer el muestreo de la escoria, se encontró en estado granulado, obteniendo el tamaño máximo de ½" con un retenido de 0.55% y un retenido de 1.07% en la malla ciega. Se obtuvo el mayor porcentaje retenido entre las mallas N°4 y N°50 con un retenido de 14.74% y 8.12% respectivamente; también se obtuvo un módulo de finura de 4.0 como agregado global excediéndose de los parámetros de 2.3 y 3.1 recomendados.

Al ser comparado los husos granulométricos de agregado fino y grueso con la escoria de zinc; esta se asemeja mucho al huso granulométrico del agregado fino, pero no cumplió con los parámetros establecidos por la NTP 400.037 sin embargo esta permite utilizar el material siempre y cuando cumpla con la resistencia y pruebas de laboratorio, por lo tanto nos brinda la oportunidad de poder utilizar la escoria.

Asimismo, esta escoria en su estado granulado no puede ser evaluada en el cemento, por lo cual se tuvo que utilizar una pulverizadora de disco programada en 180 segundos para reducir el tamaño de las partículas hasta pasar el 100% la malla N° 325.

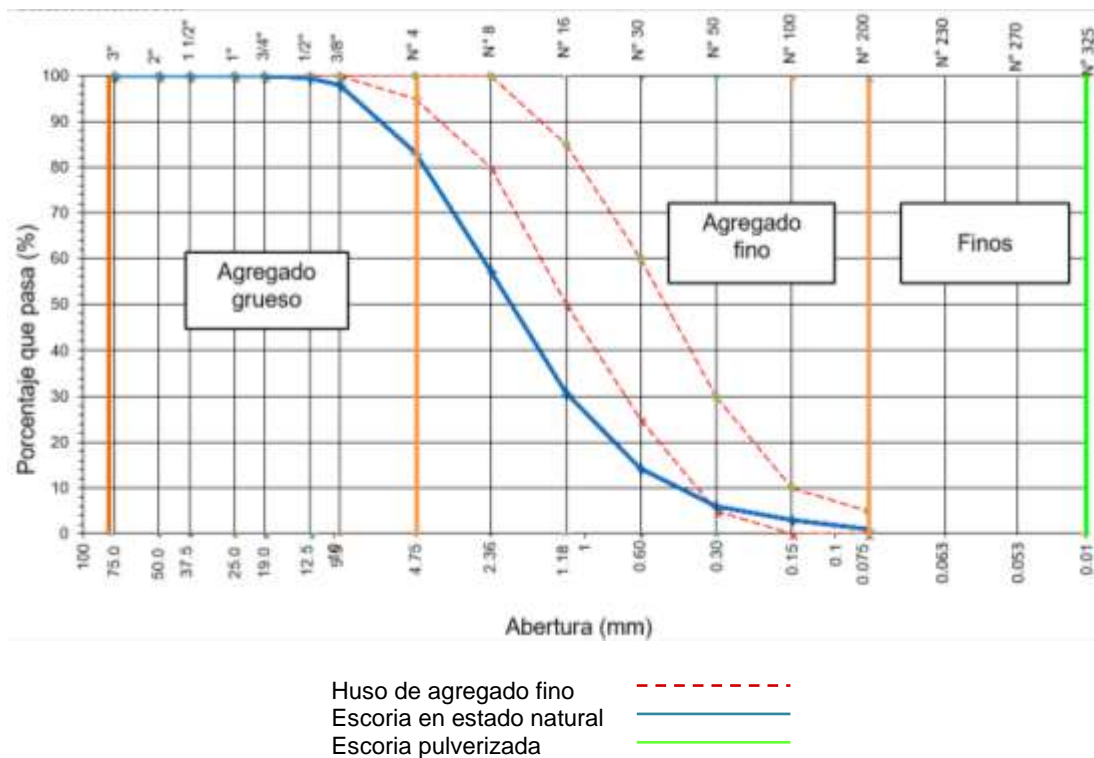


Figura 11. Granulometría de escoria de zinc

#### 5.1.4. Índice de actividad puzolánica (NTP 334.066)

La actividad puzolánica se define como la capacidad del material para fijar la cal a temperatura de ambiente y formar compuestos que tengan propiedades hidráulicas. Entendiéndose por propiedades hidráulicas la capacidad de dicho producto para endurecer en presencia de agua. Algunos autores establecen que la actividad puzolánica se debe a su composición y estructura vítrea que, a su vez, está condicionada por la temperatura en su formación y su enfriamiento. La actividad puzolánica disminuye si su enfriamiento se hace lentamente, causando la formación de fases cristalinas. La gran reactividad de las puzolanas tanto naturales como artificiales, depende de su composición química y mineralógica (Lorca, 2014).

Estudios realizados indican que a medida que la temperatura de curado aumenta con el incremento del contenido de escoria en el cemento, aumenta la resistencia y disminuye la cantidad de hidróxido de calcio. Con el curado a alta temperatura, se acelera la ganancia de resistencia de la escoria, debido a que los hidróxidos del cemento tienen mayor solubilidad y en consecuencia se incrementa la reacción inicial de la adición (Castellano, Bonavetti, & Irassar, 2011).

Las propiedades puzolánicas y cementicias, que gobiernan el desarrollo de esfuerzos y permeabilidad de las mezclas están controladas por las características mineralógicas y tamaño de partículas. Generalmente la actividad puzolánica es proporcional a la cantidad de partículas menores a  $10\ \mu\text{m}$ , donde las partículas mayores de  $45\ \mu\text{m}$  (N° 325) tienen muy poca o casi nula, es por ello que la escoria fue activada por finura, pasando la malla N° 325.

Tal como la establece la NTP 334.090, la escoria antes de ser ensayada debe tener como retenido máximo un 20% en la malla N°325 por vía húmeda, a una presión de  $10\ +/-1\ \text{Psi}$  y un desarrollo de resistencia de la escoria mayor al 75% a los 28 días. Por lo cual la escoria tuvo un retenido por vía húmeda del 3.72% y un desarrollo del índice de actividad puzolánica de 88% a los 28 días, cumpliendo con los requisitos para poder evaluar la escoria en el cemento.

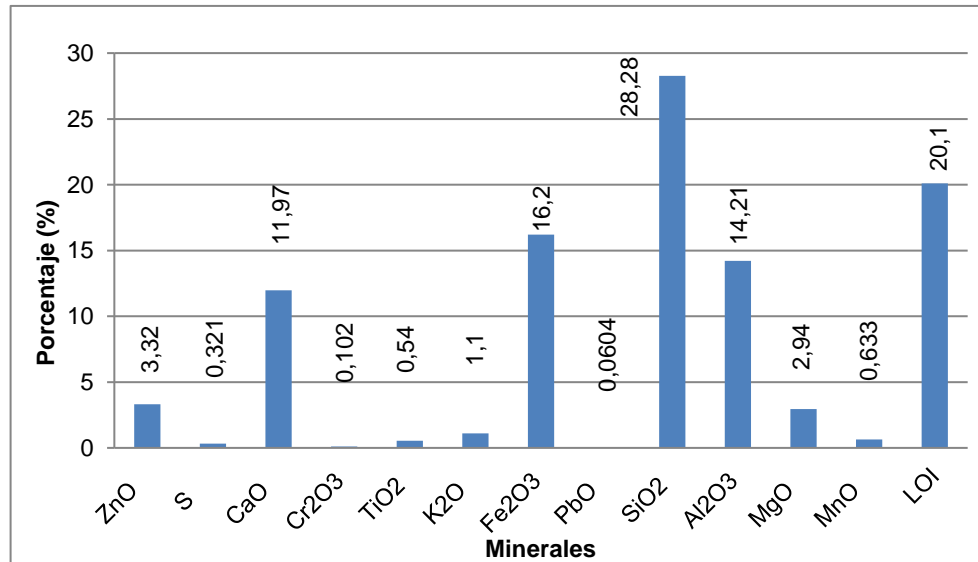
La alta actividad de la escoria se debe a la buena reacción de la escoria de zinc y el hidróxido de calcio generado en la hidratación del cemento portland, este permite fijar el hidróxido de calcio para tener compuestos con propiedades hidráulicas, ya que conforme aumenta el tiempo de curado, el consumo de cal por parte de la escoria es mayor (Torres, Arley, & Ricardo, 2009).

#### **5.1.5. Fluorescencia rayos x (NTP 334.169)**

Para entender el comportamiento de los minerales, se debe conocer su composición química, así como su estructura interna; para ello se evaluó la escoria de zinc a través del ensayo de fluorescencia de rayos x (FRX), ésta es una técnica utilizada para medir el porcentaje de metales en matrices inorgánicas tales como aleaciones de cemento y metales, asimismo, es una herramienta de investigación y desarrollo especialmente útil en las industrias de construcción. Para este ensayo se utilizó la escoria pulverizada escogida en forma aleatoria a un tamaño menor de la malla N°325.

Como se puede observar en la Tabla 37 se muestran los resultados obtenidos con el programa UNIQUNT utilizando el análisis por fluorescencia rayos x de la escoria pulverizada se muestra que la escoria tiene dentro de sus componentes el mayor porcentaje de óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) con 28% compuesto de silicio y oxígeno, conocido también como sílice, el cual se usa para la elaboración cemento, vidrio artificial y cerámicas, y cuenta con una densidad de  $2.6\ \text{g/cm}^3$ , una masa de moléculas de  $60.08\ \text{g/mol}$ , un punto de ebullición de  $2,230\ ^\circ\text{C}$ , una solubilidad al agua de  $0.012\ \text{g}$  en  $100\ \text{g}$  de agua. El óxido hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) con 16% compuesto de oxígeno y hierro, viene a ser el segundo elemento con mayor cantidad presente dentro de nuestra escoria de zinc, pero es el cuarto mineral más abundante en la corteza terrestre con un 5 %, utilizado para la producción del metal,

considerablemente duro, con una densidad de  $7.9 \text{ g/cm}^3$ . El óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) con un 14% y una densidad de  $4,05 \text{ g/cm}^3$ . Óxidos de calcio ( $\text{CaO}$ ) con un 12%, el cual viene a ser un material muy beneficioso al ser uno de los principales conglomerantes.



**Figura 12.** Ensayo de fluorescencia rayos x

Se puede ver en la Figura 12 que la escoria de zinc es rica en óxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) con un 28%, en referencia al 21% que normalmente contiene un cemento portland tipo I, el cual es importante porque influye en la reacción con la cal libre para evitar la caída de las resistencias a compresión.

La cal libre es un óxido frecuente en el cemento y escorias, debido a un defecto en la fabricación, que cuando se hidrata es expansiva, por lo tanto, al tener una escoria con bajo contenido de  $\text{CaO}$  en referencia a 59% del cemento portland, evitará la expansión del cemento al ser sometido a la cámara de autoclave.

También nos muestra la Figura 12 que tiene dentro de sus componentes un 0.10% de Óxido de Cromo ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) el cual es capaz de destruir el  $\text{C}_3\text{S}$ , en  $\text{C}_2\text{S}$  y  $\text{CaO}$ , que como se conoce, la alita y belita proporcionan las resistencias al cemento, por lo que teniendo baja cantidad de  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  no se tendría un efecto colateral; por otro lado tenemos un 0.06% de Óxido de Plomo ( $\text{PbO}$ ), ambos son componentes dañinos para la salud si no se tiene un cuidado especial al manipular la escoria. Es por todo esto que se reduce un pasivo ambiental al investigar la cantidad de metales pesados en cementos mediante absorción atómica, concluyeron que el polvo de cemento contiene componentes tóxicos como el cromo el cual es capaz de incrementar el riesgo de enfermedades, pero al contener bajas cantidades de estos

elementos químicos no perjudican los compuestos del cemento ni a la salud de los que lo manipulan (Ogunbileje, y otros, 2013).

También se tiene una pérdida al fuego de 20% lo que es un indicador que la muestra tiene gran cantidad de carbón, que al ser sometida a una temperatura de 950°C genera la calcinación completa de los materiales.

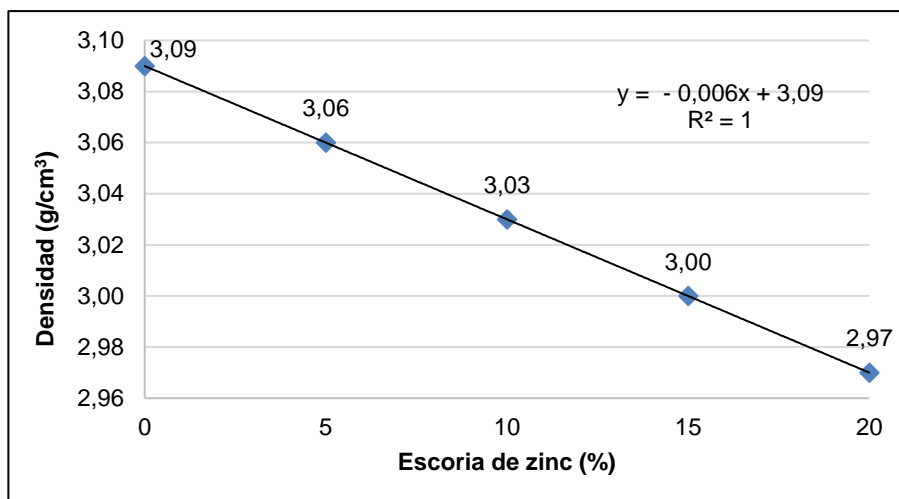
## **5.2. Ensayos en cemento con escoria de zinc.**

### **5.2.1. Densidad (NTP 334.005)**

La densidad es una característica física del cemento importante ya que la densidad de los cementos portland normalmente está comprendido entre 3.0 g/cm<sup>3</sup> a 3.15 g/cm<sup>3</sup> y el cemento portland con escorias pueden tener pesos específicos de aproximadamente 2.90 g/cm<sup>3</sup>.

En esta investigación se puede observar una reducción de las densidades debido a la sustitución de escoria de zinc por cemento, se tiene el cemento patrón con una densidad de 3.09 g/cm<sup>3</sup>, para los diseño de 5%,10%,15% y 20% se obtuvo 3.06, 3.03, 3.00 y 2,97 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. Esta reducción se debe a la reducción de clinker, yeso y que al sustituir un material de mayor densidad por otro de menor produce una caída en la densidad de los diferentes diseños. Así como también, la finura depende mucho la densidad del mismo, porque a mayor superficie específica menor serán los vacíos que contengan entre partículas. En contraste a lo mencionado cabe aclarar que depende también de que tan ligero sea el material, pues la escoria de zinc a comparación del cemento es mucho más liviano (Alaejos, Cano, Sanchez, & Sinis, 2011).

Con estas diferentes densidades se produce un cemento más liviano y con mejores propiedades hidráulicas. Este dato fue el punto de partida para la utilización de la escoria de zinc con un pasante en la malla N° 325 del 100% y la activación por finura para obtener resultados favorables de resistencia.



**Figura 13.** Densidad del cemento con escoria de zinc.

Se puede ver que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc, la densidad disminuye, estos resultados indican que ambas variables tienen una relación perfecta con un coeficiente de correlación 1 dando por validado la correlación de variables. También tiene un coeficiente de determinación de 1 esto quiere decir que un 100% de la reducción de la densidad es por la sustitución de escoria de zinc, obteniendo una relación perfecta negativa ya que exactamente a medida que se aumenta la sustitución de escoria por cemento la densidad cae proporcionalmente.

### 5.2.2. Finura (NTP 334.002)

La escoria de zinc al salir por la descarga del horno de calcinación será enfiada con agua bajo presión vitrificando el material, generando un proceso de conversión en un material sólido amorfo similar al vidrio, para obtener un menor tiempo de molienda y una superficie específica mayor (Lopez & Gonzales, 2008)

Al estudiar la influencia del tamaño de partículas de escoria sobre la resistencia mecánica del cemento con contenido variable de adición del 20 al 80%, cuando la finura del clinker se mantiene constante, y se reemplaza por una finura menor a 10  $\mu\text{m}$  de escoria, se incrementan las resistencias iniciales de cementos a partir de la activación física de la adición, a su vez a edades más avanzadas esta activación presenta menor impacto sobre el comportamiento mecánico (Castellano, Bonavetti, & Irassar, Cementos mezclas: Influencia del tamaño de las partículas de escoria, 2013).

Asimismo, la hidratación del cemento se inicia en la superficie del cemento, es por ello que la NTP 334.090 exige realizar el ensayo de finura a través del equipo de blaine, porque al aumentar la finura se necesitará mayor cantidad de agua y esta a su

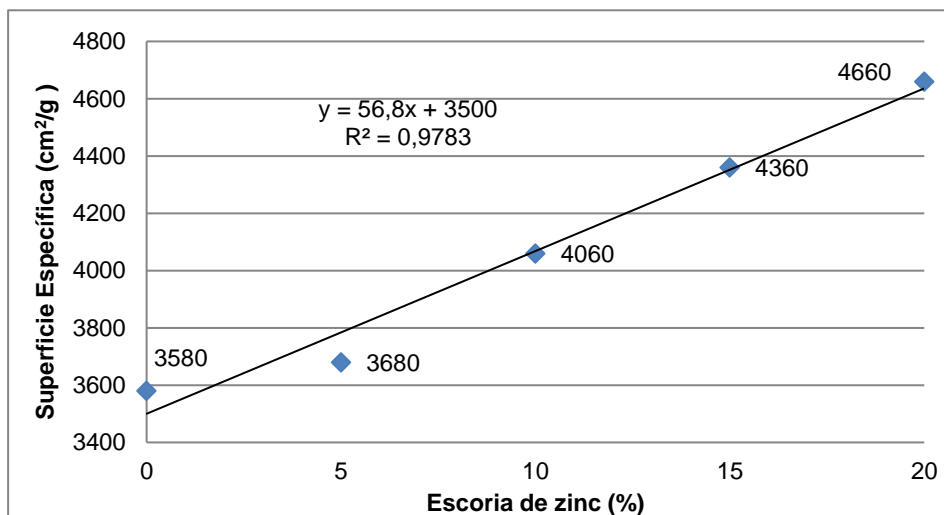


vez generará mayor calor de hidratación, los cuales no podemos pasar por desapercibido.

Se puede apreciar en la Figura 14 cómo va aumentando la superficie específica del cemento en relación a la sustitución de escoria de zinc, por lo cual no perjudicaría al cemento. El diseño que presenta una mayor superficie específica es al sustituir un 20%, mientras que la menor finura de superficie específica es al 0% de sustitución de escoria de zinc.

También podemos observar un incremento máximo de 1080 cm<sup>2</sup>/g al sustituir 20% de escoria de zinc finamente pulverizada por cemento tipo I obteniendo 4660 cm<sup>2</sup>/g de superficie específica y 3580 cm<sup>2</sup>/g para el diseño patrón. Asimismo, para los diseños de 5%, 10% y 15% se obtuvieron incrementos de 100, 480, 780 cm<sup>2</sup>/g respectivamente con respecto al diseño patrón, con valores de superficie específica de 3680, 4060 y 4360 cm<sup>2</sup>/g.

Al sustituir cemento tipo I por escoria de zinc pulverizada con partículas de una finura menor a 45 µm, aumenta la cantidad de partículas fina en cada diseño, por ende aumenta la cantidad por cada gramo de cemento, presentando mayor superficie que queda en contacto con el agua, produciendo reacciones de hidratación con mayor rapidez, aumentando principalmente las resistencias durante los primeros 7 días.



**Figura 14.** Permeabilidad al aire del cemento con escoria de zinc.

Se puede ver que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc, la superficie específica aumenta debido que, a mayor cantidad de escoria pulverizada se genera menor porosidad en cada diseño. Asimismo, se puede verificar que ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.99 dando por válido la correlación entre variables. También tiene

un coeficiente de determinación de 0.98, esto quiere decir que un 98% del incremento de la finura es por la sustitución de escoria de zinc.

### 5.2.3. Fluorescencia rayos x (NTP 334.169)

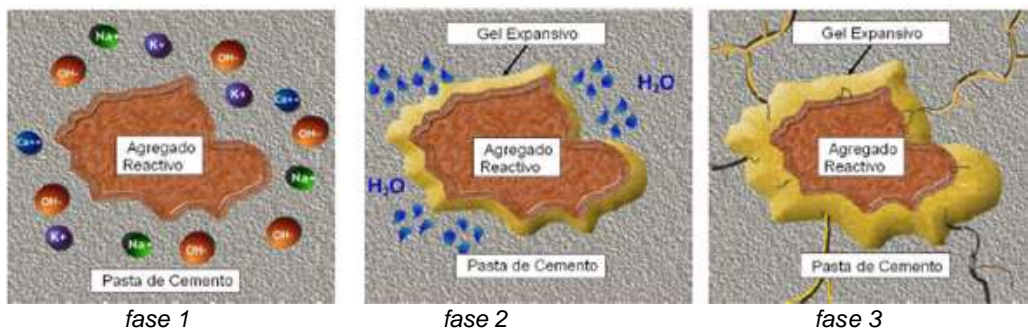
Del mismo modo que la escoria de zinc, en este apartado se analizará el comportamiento de los elementos minerales, del cemento con sustitución al 5%, 10%, 15% y 20% de escoria de zinc, para así, observar el cambio de su composición de elementos químicos y visualizarlo a través del ensayo de fluorescencia de rayos x y obtener porcentajes exacto.

De la misma manera que la escoria en estado puro, igualmente se evaluó el cemento a través del espectrómetro por el método de pastillas prensadas; obteniendo una variedad de elementos los cuales a través de las fórmulas de Bogue (anexo A de la NTP 334.009) se calculan los porcentajes de los elementos principales del cemento entre los que tenemos silicato tricálcico ( $C_3S$ ), silicato dicálcico ( $C_2S$ ), Aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) y Aluminato ferrita tetracálcico ( $C_4AF$ ).

Por otro lado se puede apreciar en la Tabla 39 los resultados las cantidades de Óxidos de silicio ( $SiO_2$ ), Óxidos de aluminio ( $Al_2O_3$ ), Óxidos de hierro ( $Fe_2O_3$ ), Óxidos de Calcio ( $CaO$ ), Óxidos de Magnesio ( $MgO$ ), Óxidos de potasio ( $K_2O$ ), Óxidos de sodio ( $Na_2O$ ), Óxidos de azufre ( $SO_3$ ), Cloro (Cl), Carbonato de Calcio ( $CaCO_3$ ); para cada una de las sustituciones tanto para el patrón como para los diferentes porcentajes al 5%, 10%, 15% y 20%. De estos resultados notamos que el incremento de  $K_2O$ ,  $Na_2O$  y  $SO_3$ , los cuales son llamados comúnmente álcalis, al ser utilizado en cementos para la producción de concreto, éste reacciona con los agregados después de varios años de exposición, formando un gel que va hinchándose cada vez más, rompiendo la estructura interna del concreto y ocasionando fisuraciones (E. Pasquel, 2012).

A medida que se sustituye mayor porcentaje de escoria de zinc, incrementa el óxido de sodio ( $NaO$ ), esto se debe tener en cuenta ya que el incremento del  $NaO$  causa efectos de activación química en el cemento, incrementando las pruebas de resistencia de morteros realizados con cemento portland y escoria. Esta activación incluye el refinamiento de las estructuras de los poros (Guo, Li, Yang, & Xu, 2018).

Se puede visualizar en la figura 15 las diferentes fases de la reacción álcali sílice, en la figura se muestra la fase 1 donde la pasta de cemento compuesto por los álcalis ( $Na^+$ ,  $K^+$ ) reacciona con los iones hidroxilos  $OH^-$ . En la fase 2 la presencia de humedad activa la reacción álcali-agregado generando un gel reactivo. En la fase 3 se produce el hinchamiento del gel produciendo la fisuración de la microestructura del concreto.

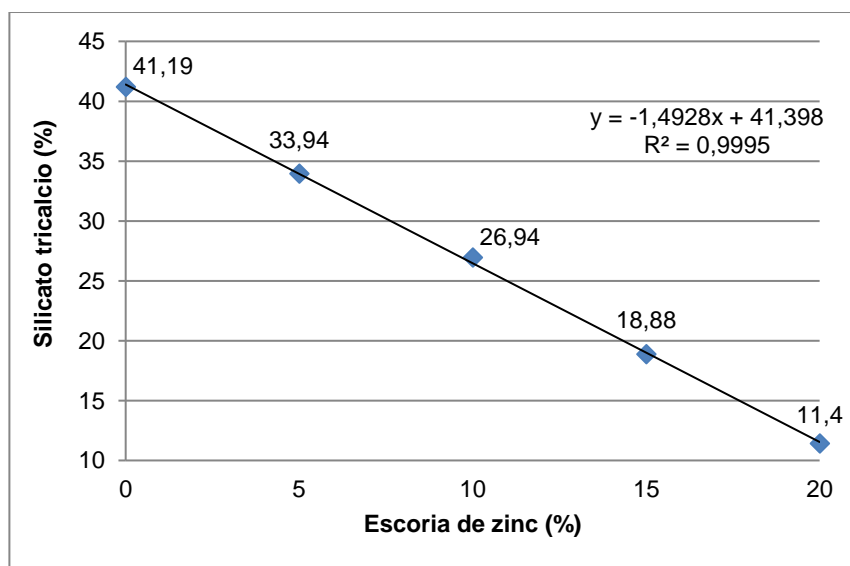


**Figura 15.** Agregado reactivo en el cemento (Pasquel, 2012)

Del mismo modo se puede verificar que conforme se le agrega más escoria de zinc se incrementa el óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>), lo que genera una disminución proporcional de silicato tricálcico (Alita), el cual genera que las resistencias iniciales se vea perjudicadas al no reaccionar con facilidad, obteniendo resistencias a la compresión bajas, pero por otro lado se ve un aumento del silicato dicálcico (Belita), que nos proporciona resistencias finales, los cuales pueden reaccionar hasta los 90 días de curado.

El C<sub>3</sub>S es uno de los principales componentes mineralógico que provee de resistencias iniciales al cemento, aquí se puede apreciar una disminución del C<sub>3</sub>S, lo que conlleva a la reducción de las resistencias iniciales del cemento hasta los 7 días. También tiene influencia en el fraguado inicial del cemento, así como reducción en el calor de hidratación a medida que se le incrementa el porcentaje de escoria de zinc.

El diseño patrón es el que obtuvo mayor porcentaje de C<sub>3</sub>S en su composición con 41.19%, así también se obtuvieron en los diseños de 5%,10% y 15% valores de 33.94%, 26.94% y 18.88%; para el diseño con 20% de escoria fue el que obtuvo el menor valor de C<sub>3</sub>S en su composición con 11.4%.

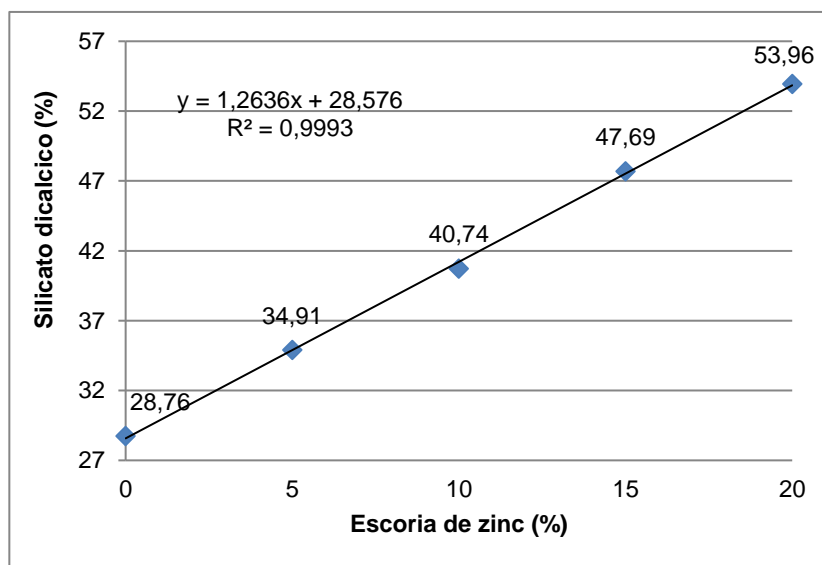


**Figura 16.** Silicato tricálcico del cemento con escoria de zinc.

Se puede ver que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc, el silicato tricálcico  $C_3S$  disminuye. También ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.9997 dando por validado la correlación de variables. Asimismo, tiene un coeficiente de determinación de 0.9995 esto quiere decir que un 99.95% de la reducción del  $C_3S$  del cemento es por la sustitución de escoria de zinc.

Por otro lado en la figura 17 se puede apreciar que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I se produce el aumento del silicato dicálcico ( $C_2S$ ) que es uno de los principales componentes mineralógico que provee de resistencias finales al cemento, aquí se puede apreciar un aumento del silicato dicálcico ( $C_2S$ ) lo que genera el aumento de las resistencias finales del cemento hasta los 28 días y la durabilidad del mismo hasta más de 90 días, asimismo, aumenta la resistencia a los sulfatos de cada diseño.

El diseño patrón es el que obtuvo menor porcentaje de  $C_2S$  en su composición con 28.76%, también se obtuvieron en los diseños de 5%, 10% y 15% valores de 34.91%, 40.74% y 47.69%; el diseño con 20% de escoria fue el que obtuvo el mayor valor de  $C_2S$  en su composición con 53.96%.



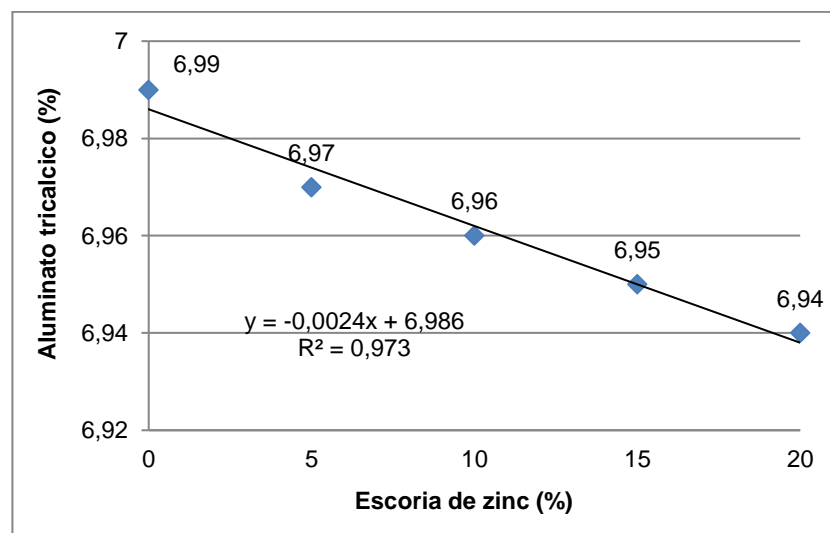
**Figura 17.** Silicato dicálcico del cemento con escoria de zinc.

Se puede ver que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc, el silicato dicálcico  $C_2S$  disminuye. Ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.9996 dando por validado la correlación de variables. También tiene un coeficiente de determinación de 0.9993 esto quiere decir que un 99.93% del aumento del silicato dicálcico ( $C_2S$ ) del cemento es por la sustitución de escoria de zinc.

Continuando tenemos al aluminato tricálcico ( $C_3A$ ), que es uno de los componentes que primero se hidrata, asimismo es el que asume gran parte de los defectos que sufre la pasta de cemento, como contracciones, fenómenos exotérmicos y sensibilidad a agentes químicos externos. Estos aluminatos tricálcicos ( $C_3A$ ) reaccionan con el yeso el cual funciona como regulador de fraguado.

Se puede apreciar en la Figura 18 que a medida que se agrega escoria de zinc el aluminato tricálcico  $C_3A$  disminuye; el diseño patrón tiene 6.99% seguidos de los diseños de 5%, 10%, 15% y 20% con valores de 6.97%, 6.96%, 6.95% y 6.94% respectivamente

Esto indica que a menor cantidad de  $C_3A$  en cada diseño el fraguado será lento por lo tanto incrementará el tiempo de fragua de cada diseño, reduciendo el calor de hidratación, generando un cemento con mayor resistencia a los sulfatos y con menor cambio de volumen.



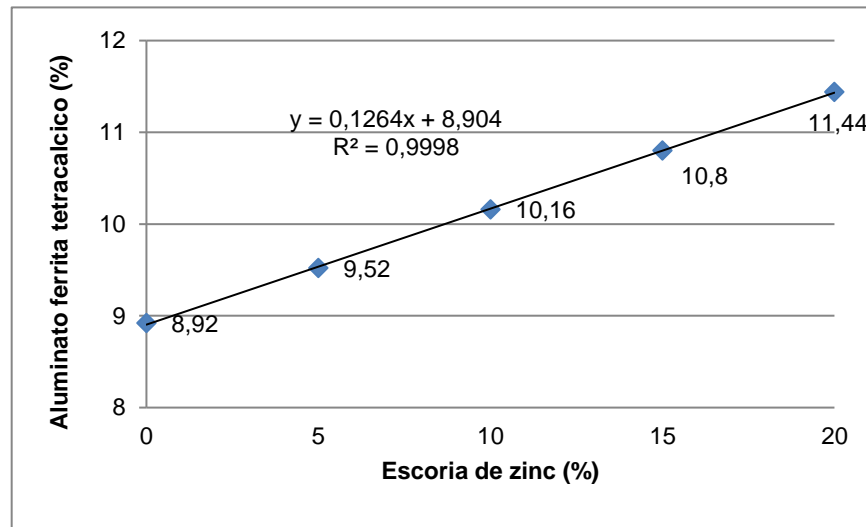
**Figura 18.** Aluminato tricálcico del cemento con escoria de zinc.

Se puede ver que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc, el aluminato tricálcico  $C_3A$  disminuye. Ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.9864 dando por validada la correlación de variables. También tiene un coeficiente de determinación de 0.9730 esto quiere decir que un 97.30% de la reducción del  $C_3A$  del cemento es por la sustitución de escoria de zinc.

Por último se puede apreciar en la Figura 19 que a medida que se agrega escoria de zinc el  $C_4AF$  aumenta; el diseño patrón tiene 8.92% seguidos de los diseños de

5%,10%, 15% con valores de 9.52%, 10.16%,10.80%, con un valor máximo en el diseño del 20% de 11.44%.

A medida que se sustituya mayor cantidad de escoria por cemento, se obtendrá cementos con mejores propiedades, resistentes a las aguas agresivas y selenitosas; asimismo indica que puede ser utilizado como aditivo para la formación de clinker ya que funcionará como fundente generando menor consumo energético.



**Figura 19.** Aluminato ferrita tetraclórico del cemento con escoria de zinc.

Se puede ver que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc, el aluminato ferrito tetraclórico  $C_4AF$  aumenta. También se visualiza que la relación de ambas variables es alta porque tiene un coeficiente de correlación de 0.9999 dando por validada la correlación de variables y tiene un coeficiente de determinación de 0.9998 esto quiere decir que un 99.98% del aumento del  $C_4AF$  del cemento es por la sustitución de escoria de zinc.

### 5.3. Ensayos en pasta con escoria de zinc.

#### 5.3.1. Tiempo de fraguado (NTP 334.006)

El tiempo de fraguado es el tiempo que demora una mezcla (pasta, mortero, concreto, etc.) en obtener resistencias iniciales y finaliza cuando éste pierde su estado plástico, al cual se le conoce como tiempo de fraguado final; y es aquí en donde afloran sus verdaderas resistencias.

En la Figura 20 se puede observar un aumento en el tiempo de fraguado inicial y final; a medida que se incrementa la sustitución de escoria de zinc por cemento.

La NTP 334.006 establece un rango de 49 a 202 minutos para el tiempo de fraguado inicial y 185 a 312 minutos para el tiempo de fraguado final con una desviación estándar de 12 y 20 minutos respectivamente, por ende al visualizar los datos, en el

diseño con 20% de sustitución, existe el mayor incremento en el tiempo de fraguado con 22 y 16 minutos obteniendo valores resultantes de 153 y 284 minutos para el tiempo de fraguado inicial y final respectivamente, con respecto al diseño patrón.

También se muestra un incremento en los tiempos de fraguado inicial con 8, 10, 13 minutos e incrementos en el tiempo de fraguado final con 10, 12, 13 minutos, para los diseños de sustitución al 5%, 10% y 15% de cemento tipo I por escoria de zinc con respecto al patrón. Los cuales se encuentran dentro del rango de tiempo de fraguado inicial de 49 a 202 minutos ya que los valores obtenidos son de 139, 141, 144 minutos para los diseños del 5% al 15%, así como del tiempo de fraguado final en el rango de 185 a 312 minutos con tiempos de 278, 280, 281 minutos, por lo tanto los tiempos de fraguado tanto inicial como final cumplen con los requisitos establecidos en la norma.

El aumento del tiempo de fraguado se debe a la reducción de clinker, yeso así como al aumento de zinc y plomo que contienen 3.32% y 0.06% en la escoria respectivamente, los cuales van en incremento con cada diseño.

Al estudiar la hidratación del mercurio y zinc en morteros, concluyeron que al agregar zinc y mercurio al cemento, se forma un gel protector insoluble de silicato de mercurio y silicato de zinc, y permiten la incorporación de los metales al C-S-H (Qian, Delai Sun, & Hwa Tay, 2003).

El plomo y zinc actúan como plastificante y de manera indirecta también aumenta la resistencia, ya que los iones de ambos elementos forman alrededor de los granos de cemento una capa gelatinosa, retardando la hidratación del cemento, el agua que se difunde a través de esa capa gelatinosa finalmente reacciona hidratando el cemento (Morrison C, Hooper R y Lardner K, 2003).

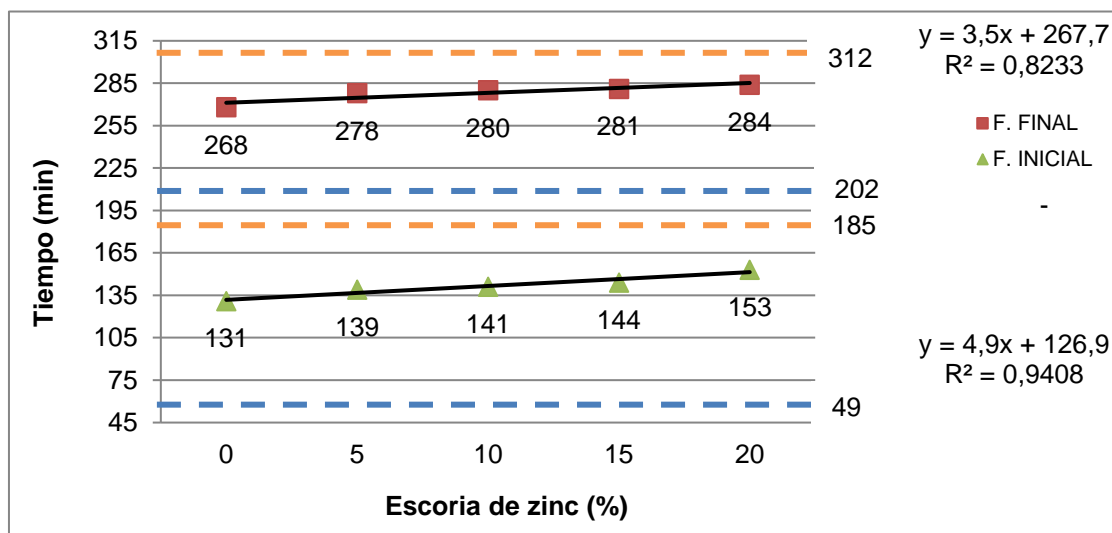
También se ha determinado que el empleo de escoria en la formulación de cementos compuestos conduce a una menor velocidad de hidratación del sistema, a medida que aumenta el nivel medio de adición en el cemento (Carrasco, Bonavetti, Menendez, & Irassar, 2007).

La reacción generada entre los aluminatos tricálcicos con el agua es inmediata, hidratándose más rápidos que los silicatos, generando un mayor calor de hidratación inicial. Por lo tanto la disminución de los aluminatos tricálcicos ( $C_3A$ ) en cada diseño genera disminución del calor de hidratación y velocidad de hidratación aumentando el tiempo de fraguado inicial.

El silicato tricálcico ( $C_3S$ ) quien contribuye con el tiempo de fraguado final y las ganancias de resistencias iniciales, se hidrata más rápido que el silicato dicálcico ( $C_2S$ ) por lo tanto la disminución del ( $C_3S$ ) aumenta el tiempo de fraguado.



En ambos casos la disminución del aluminato tricálcico y silicato tricálcico, aumentan el tiempo de fraguado de cada diseño debido a la menor cantidad de cristales disponibles para hidratarse, prolongando el tiempo de fraguado inicial y final de cada diseño.



**Figura 20.** Tiempo de fraguado de la pasta con escoria de zinc.

Se puede ver que a medida que se sustituye cemento por escoria de zinc, el tiempo de fraguado inicial como final aumenta progresivamente. Ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.97 y 0.91 para el tiempo de fraguado inicial y final respectivamente, dando por validado la influencia de la escoria de zinc en los diseños. También tienen un coeficiente de determinación de 0.94 y 0.82 esto quiere decir que un 94% y 82% del aumento de tiempo de fraguado inicial y final respectivamente, es por la sustitución de escoria de zinc.

### 5.3.2. Expansión en autoclave (NTP 334.004)

Entre las características físicas y mecánicas que un buen conglomerante hidráulico debe poseer, es la estabilidad de volumen para no dar lugar a excesivos cambios dimensionales durante el proceso de hidratación, ya que la inestabilidad puede causar fisuraciones y agrietamientos.

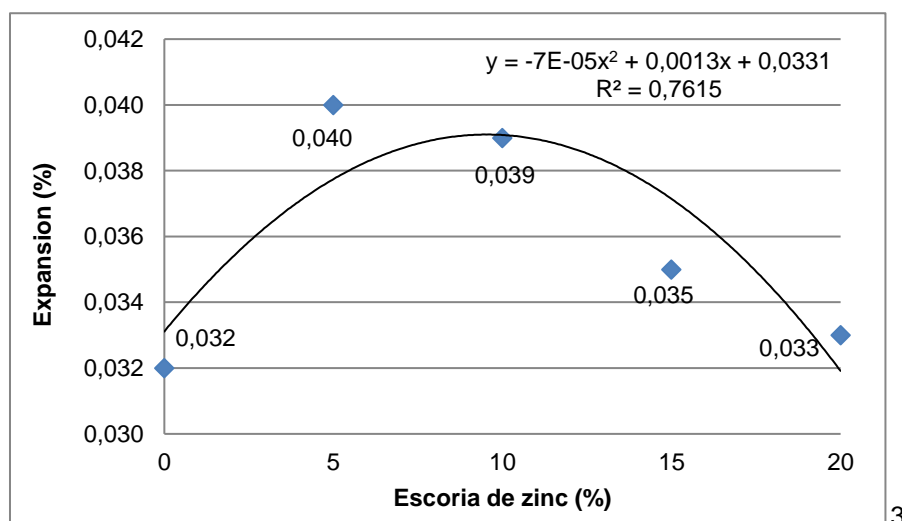
En la Figura 21 se observa una expansión máxima de 0.040% para el diseño de 5% de sustitución de escoria por cemento tipo I en peso, para luego obtener una caída de expansión hasta 0.033% en la sustitución del 20%, pero sin reducir la expansión con respecto al diseño patrón.

El aluminato tricálcico ( $C_3A$ ) en presencia del sulfato cálcico o yeso y agua puede dar lugar a la ettringita, cuya formación transcurre con carácter expansivo, es por esto que al sustituir escoria de zinc en mayor cantidad la expansión cae, debido al



aumento proporcional del óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) el cual reduce el  $\text{C}_3\text{A}$ , quedando menor cantidad en cada diseño para la formación de ettringita y reacción ante las condiciones más desfavorables frente a la cámara de autoclave.

Asimismo, el óxido de magnesio ( $\text{MgO}$ ) y cal libre ( $\text{CaO}$ ) en el cemento son los principales causantes de la expansión, es por ello que en el diseño del 5% de sustitución ocurre un ligero incremento de la expansión debido a la estabilidad del óxido de magnesio, para luego generar la caída de la expansión con mayores porcentajes de sustitución. Por lo tanto, al tener menor cantidad del óxido de magnesio y cal libre se prevé la formación de menos cristales de periclusa (óxido de magnesio cristalizado), ya que son los responsables de provocar presión y expansión del cemento, siendo capaz de llevar a la ruptura de la microestructura de la pasta.



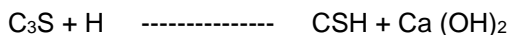
**Figura 21.** Expansión en autoclave de la pasta con escoria de zinc.

Se puede ver que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc, la expansión de la pasta aumenta, pero luego disminuye. Ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.8726. También tienen un coeficiente de determinación de 0.76, esto quiere decir que un 76% de la expansión es por la sustitución de escoria de zinc.

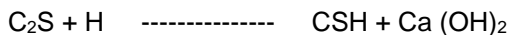
#### 5.4. Ensayos en mortero con escoria de zinc.

##### 5.4.1. Fluidez (NTP 334.057)

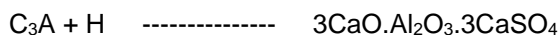
Al entrar en contacto el cemento con el agua se produce la hidratación de los componentes principales del cemento. El primer componente que entra en reacción con el agua  $\text{H}$  es el silicato tricálcico  $\text{C}_3\text{S}$  generando silicato de calcio hidratado  $\text{CSH}$  e hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  hidratándose un 60% hasta los 28 días.



Luego silicato dicálcico  $C_2S$  con el agua  $H$  generan silicato de calcio hidratado  $CSH$  e hidróxido de calcio  $Ca(OH)_2$  pero solo hasta un 20% a los 28 días.



Asimismo, el aluminato tricálcico  $C_3A$  debido a su alto poder de disolución y fraguado instantáneo se le agrega yeso  $CaSO_4 \cdot 2H_2O$  para poder regular su fraguado y al entrar en contacto con el agua  $H$  generan trisulfo aluminato tricálcico  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4$  o también conocido como ettringita. El ferrito aluminato tetracálcico  $C_4AF$  es el que se encarga de dar el color grisáceo del cemento y en conjunto con el  $C_3A$  son los encargados de aglutinar los materiales.



En la Figura 22 se puede verificar a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento, el mortero va perdiendo fluidez. Para el mortero patrón por tratarse de un cemento tipo I se utilizó 359 ml de agua en la mezcla obteniendo una fluidez de 125%.

Para el resto de los diseños se utilizó una sola cantidad de agua de 351 ml en la mezcla, obteniendo una reducción de la fluidez en la sustitución del 5%, 10%, 15% y 20% de escoria de zinc por cemento portland tipo I donde se obtuvo una fluidez de 115%, 111%, 109% y 107% respectivamente, pero manteniéndose dentro de los parámetros aceptados por la NTP 334.051 para la utilización del mortero en pruebas de resistencia, la cual establece que para otros cementos diferentes al cemento portland, deben obtener una fluidez de  $110 \pm 5$  luego de 25 golpes en la mesa de flujo.

La demanda de agua y trabajabilidad están controladas por la distribución del tamaño de partículas de las escorias, por el efecto de empaquetamiento de las partículas y la suavidad de la superficie. Por ende, la pérdida de fluidez se da debido a la mayor cantidad de partículas finas en cada diseño, por lo que a mayor porcentaje de sustitución, se tiene mayor porcentaje de superficie específica que se quedará en contacto con el agua absorbiendo mayor cantidad de agua y reduciendo la fluidez de cada diseño de mortero.

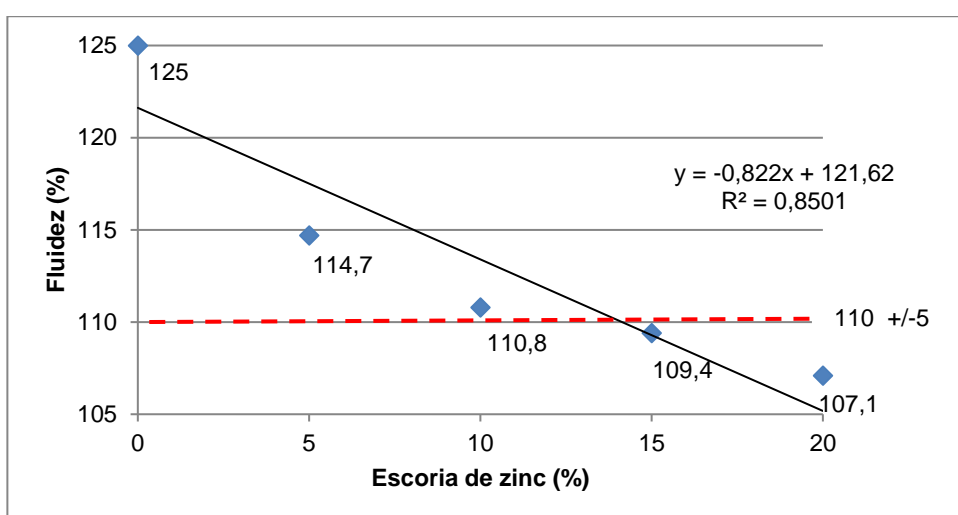
Se considera que la cantidad de agua necesaria para hidratar completamente un gramo de cemento portland, es de 0.185 gramos; mientras que el valor para hidratar un gramo de escoria es de 0.203 gramos (Castellano, Viviana, & Irassar, 2012)

La incorporación de materiales finos provoca un incremento en la velocidad de reacción del clinker portland ya que aumenta el grado de hidratación y produce un

mayor volumen CSH. Este efecto compensa al efecto de disolución del cemento portland que ocasiona un aumento en la relación a/c efectiva, debido a la menor cantidad de material inicialmente reactivo (Zhang, 1996).

A edades más avanzadas, el efecto de aceleración deja de ser relevante y la reacción de la escoria produce el refinamiento de granos y poros, permitiendo compensar al efecto de dilución (Carrasco, Bonavetti, Menendez, & Irassar, 2007).

Para una temperatura de curado de 20°C la incorporación de escoria al cemento produce un aumento en el contenido de agua, debido al efecto filler; y en las edades más avanzadas dado por la hidratación de la adición, es por ello que al sustituir escoria de zinc por cemento reduce la fluidez de los diseños (Castellano, Bonavetti, & Irassar, 2011).



**Figura 22.** Fluidez del mortero con escoria de zinc.

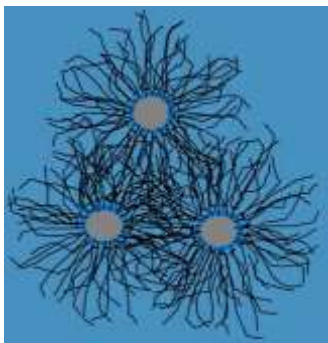
Se puede ver que a medida que se sustituye escoria de zinc por cemento portland tipo I de zinc, la fluidez del mortero disminuye. Ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.92 dando por validado la influencia de la escoria de zinc en los diseños. También tiene un coeficiente de determinación de 0.85 esto quiere decir que un 85% de la disminución de la fluidez es por la sustitución de escoria de zinc.

#### 5.4.2. Resistencia a la compresión (NTP 334.051)

Cuando mezclamos el agua con el cemento hacemos un fluido denso y comenzará a producirse la reacción química de hidratación, generando gran cantidad de calor, para luego producir endurecimiento, la cual es progresiva ya que adquiere resistencia a lo largo del tiempo, esta una vez fraguado está compuesto por silicatos cálcicos hidratados complejos denominados tobermorita o gel de hidratación. Generado por el

proceso de disolución y cristalización, así como el proceso de ligazón debido a fuerzas de adherencia entre partículas (Rodríguez A. , 2013)

Las partículas de cemento las cuales tienen un tamaño de 50  $\mu\text{m}$  hasta 15  $\mu\text{m}$ , al mezclarse con el agua hidratan superficialmente el grano vítreo del cemento, formándose unos cristales, para luego volver a hidratar otra capa del mismo grano de cemento formando más cristales, ya cuando el grano de cemento ha disminuido vuelve a hidratarse otra pequeña lámina del cemento formando más cristales y así sucesivamente; cuando ha terminado el fraguado y el material es un sólido rígido todavía queda cemento sin fraguar que puede tardar años en hidratarse y que paulatinamente con el tiempo irá adquiriendo resistencia tal cual se puede ver en la figura 23 (Rodríguez A. , 2013)



**Figura 23.** Partícula de cemento hidratado con formación de cristales

En la Figura 24 en el eje de las abscisas se observa los porcentajes de reemplazo de escoria de zinc por cemento tipo I con respecto al mortero patrón, y en el eje de las ordenadas se observa los datos de las fuerzas en MPa evaluando el desarrollo de las resistencias a 1, 3, 7 y 28 días.

La incorporación de escoria al cemento produce un incremento en la relación entre la resistencia a flexión y la resistencia a la compresión (Castellano, Bonavetti, & Irassar, Influencia de la temperatura de curado: hidratación y resistencia de pasta de cemento con escoria, 2011) .

Resultados obtenidos muestran que, a primeras edades, cuando la finura del cemento se mantiene constante, al aumentar la cantidad de partículas, se incrementa la resistencia. Así, se pueden obtener adecuadas resistencias iniciales en cementos con medio y elevado contenido de escoria a partir de la activación física de la adición (Castellano, Bonavetti, & Irassar, 2013). Es por ello que 1 día con el diseño de 5% de reemplazo se obtuvo la mayor resistencia con respecto al patrón con 16.7 MPa, a partir de allí se manifiesta un ligero descenso en la resistencia a la compresión siendo el valor más bajo de 13.2 MPa para el 20% de reemplazo.

Para alcanzar una resistencia similar a la obtenida por la pasta patrón, el contenido de escoria debe ser menor al 20% (Castellano, Viviana, & Irassar, Influencia del contenido de agua en la evolución de la hidratación de pastas de cemento con escoria, 2012). Tal como se utilizó en los diseños, eso se ve reflejado en el curado a 3 días con el diseño de 5% de reemplazo se obtuvo la mayor resistencia de 29.2 MPa y una diferencia de 1.7 MPa con respecto al patrón, a partir de allí se manifiesta un ligero descenso en la resistencia a la compresión siendo el valor más bajo de 24 MPa para el 20% de reemplazo.

La estructura vítrea de la escoria está compuesta por enlaces ( $\text{CaO-SiO}_2$ ), siendo el enlace más débil, pero con mayor reactividad. Consecuentemente en las escorias más finas este enlace es predominante en su superficie, lo que genera mayor reactividad de la escoria a primeras edades (Tsuyuki y Koizumi, 1999). A 7 días, las disminuciones de resistencia que ocasiona la incorporación de escoria son menores a las registradas a 3 días (Castellano et al., 2012). Se puede visualizar que a 7 días se generó la resistencia máxima al 5 % con 35 MPa y una diferencia de 1.8 MPa así mismo se generó el máximo acercamiento de las resistencias de 10% y 15% con una diferencia de 0.4 y 0.8 MPa respectivamente con respecto al patrón, también se obtuvo el valor más bajo con el 20% de reemplazo con 30.5 MPa.

Por último a los 28 días de curado se obtuvo una superioridad en la ganancia de resistencias del mortero patrón con respecto al 5% y 10% con una diferencia de 0.3 y 0.8 MPa respectivamente, pero el diseño con 15% de sustitución de escoria superó al patrón en 1.1 MPa con una resistencia de 42.6 MPa, el 20% obtuvo una resistencia de 37.9 MPa no logrando superar en resistencia a ninguna edad.

Se puede ver en la Tabla 39 de fluorescencia rayos x, que en todos los diseños se tiene una disminución del silicato tricálcico ( $\text{C}_3\text{S}$ ) que es el componente principal, que confiere altas resistencias iniciales al cemento; el cual desarrolla sus resistencias durante los primeros 7 días. Por tal motivo, se esperó una caída de las resistencias a edades tempranas en todos los diseños, debido a la disolución del clinker pero para no obtener resultados desfavorables, se reemplazó por partículas de una finura menor a 45  $\mu\text{m}$ , para generar un desarrollo rápido de la resistencia a compresión especialmente a edades tempranas aumentando la superficie específica.

Por lo tanto, se puede verificar en los resultados, que se obtuvo un ligero incremento de las resistencias al 5% de sustitución, superando dentro de los 7 días al mortero patrón.

Las muestras de cemento con escoria muestran un paulatino incremento de las resistencias con la edad de hidratación con la edad, su contribución es apreciable luego de los 7 días. La escoria reacciona generando productos de hidratación esencialmente similares a los obtenidos por el cemento portland, pero con menor

contenido de CH, produciendo el refinamiento de poros en la pasta de cemento y un aumento de la resistencia (Castellano, Viviana, & Irassar, 2012).

A edades más avanzadas la activación por finura presenta un menor impacto sobre el comportamiento mecánico, pues puede alcanzarse una resistencia similar o mayor a la obtenida por la pasta de cemento sin adición con elevados contenido de escoria de finura convencional (Castellano, Bonavetti, & Irassar, 2013).

A edades más avanzadas, el efecto de aceleración deja de ser relevante y la reacción de la escoria produce el refinamiento de granos y poros, permitiendo compensar al efecto de dilución (Carrasco, Bonavetti, Menendez, & Irassar, 2007).

Asimismo, se puede ver el aumento del silicato dicálcico ( $C_2S$ ) y porcentaje de escoria de zinc, los cuales brindan poca resistencia en los primeros días, pero luego va desarrollando resistencias a edades tardías hasta pasando los 90 días.

A medida que la relación a/c disminuye se produce un incremento en la resistencia de las pastas, y este aumento se atenúa con el incremento del contenido de la adición (Castellano, Viviana, & Irassar, 2012).

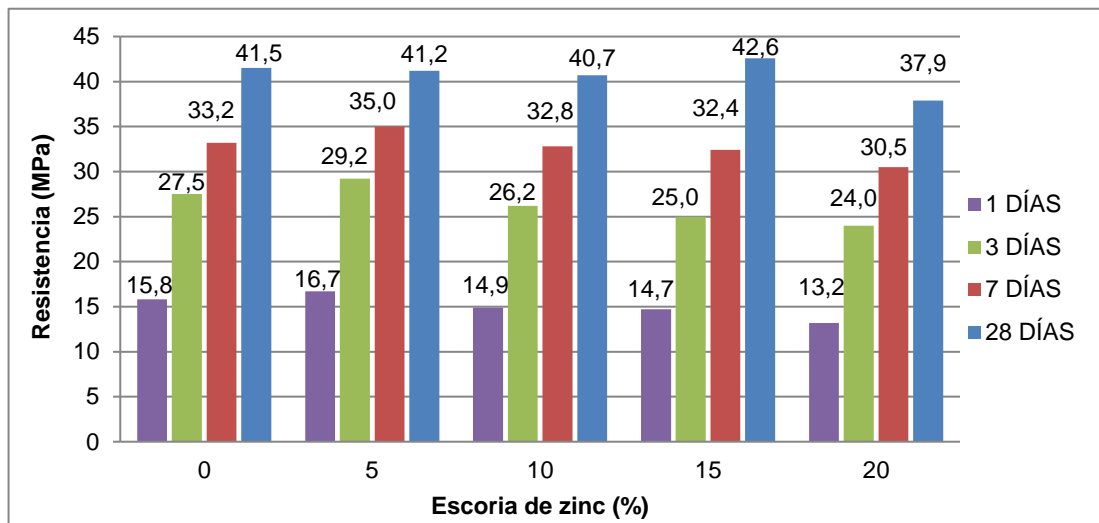
El grado de reacción de la escoria no solo depende de la relación a/c, sino también del porcentaje de reemplazo de la adición. Debido a que el CSH generado durante la hidratación de la escoria ocupa mayor volumen que el correspondiente al cemento portland sin adición (Kazes, 2008).

La adición del 2% de zinc a un mortero no hidratada bien incluso a los 28 días (Qian, Delai Sun, & Hwa Tay, 2003)

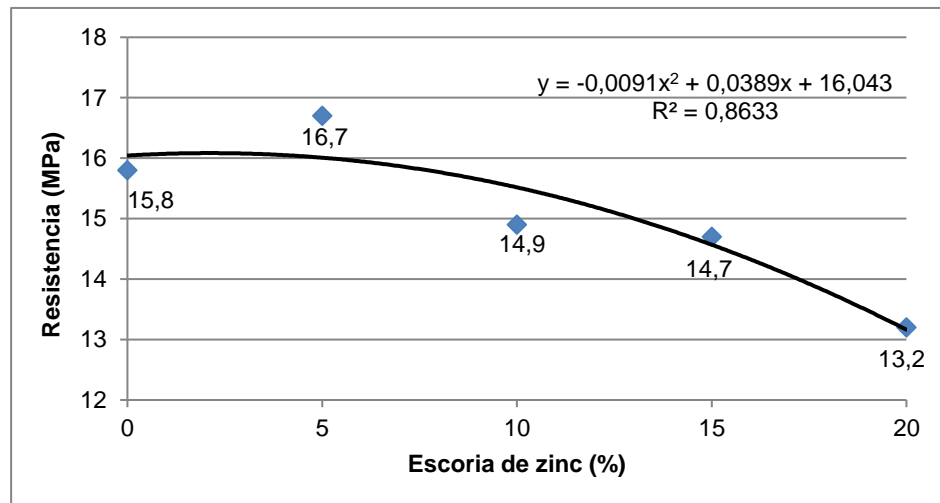
El uso de escorias como reemplazo de cemento con 10% a 40% en morteros, produce un incremento de las resistencias a largo tiempo (Abdelli, Tahlaiti, Belarbi, & Oudjit, 2017).

Esto se puede observar en el Figura 28 de resistencia que a 28 días, que las resistencias de los diseños se mantienen estables con respecto al diseño patrón hasta el 15% y una caída en las resistencias del 20% de sustitución, esto es debido a la disolución del clinker, a la lenta hidratación de la escoria y a la insuficiente cal libre en base al aumento del óxido de silicio ( $Si_2$ ) que existe en cada diseño para reaccionar.

A medida que la relación a/c disminuye se produce un incremento en la resistencia de los morteros, y que este aumento se atenúa con el incremento del contenido de la adición (Castellano, Viviana, & Irassar, 2012).



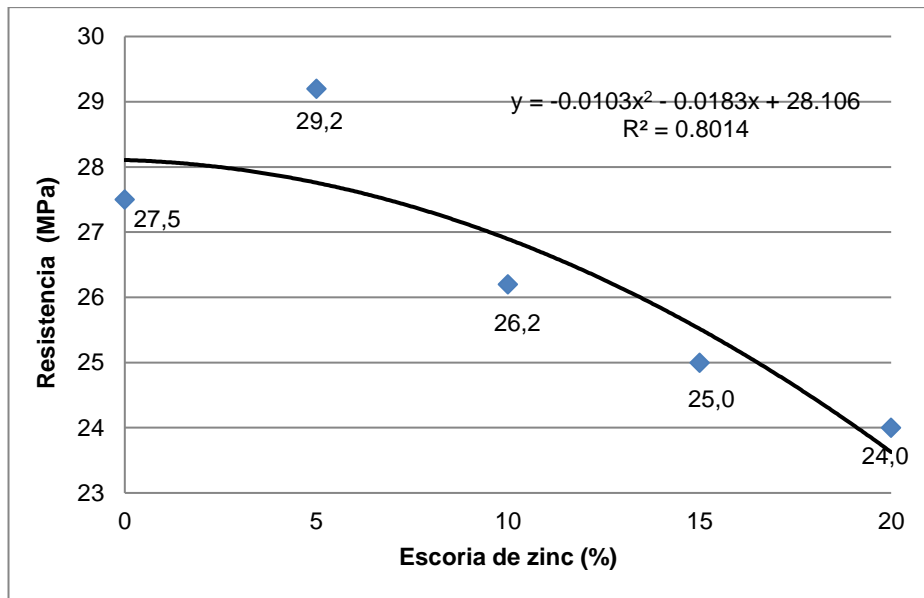
**Figura 24.** Resistencia a compresión de los morteros con escoria de zinc.



**Figura 25.** Línea de tendencia de resistencia a compresión a 1 día.

Se puede ver que la resistencia a la compresión a 1 día aumenta y luego disminuye teniendo un comportamiento polinómico cuadrático, esto se debe a que conforme se aumenta la sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I, aumenta la resistencia hasta el 5%, pero a medida que se sustituye más escoria a partir del 10% las resistencias a la compresión empiezan a disminuir. Ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.93 dando por validado la influencia de la escoria de zinc en los diseños. También tiene un coeficiente de determinación de 0.86 esto quiere decir que un 86% de la caída de la resistencia a 1 día, es por la sustitución de escoria de zinc y solo un 14% permite el aumento de resistencia que se ve reflejado en el diseño al 5%.

Asimismo, los resultados individuales de cada diseño de resistencia a la compresión a 1 día se analizaron en base a la desviación estándar y rango máximo permisible cumpliendo con ambos parámetros establecidos por norma.

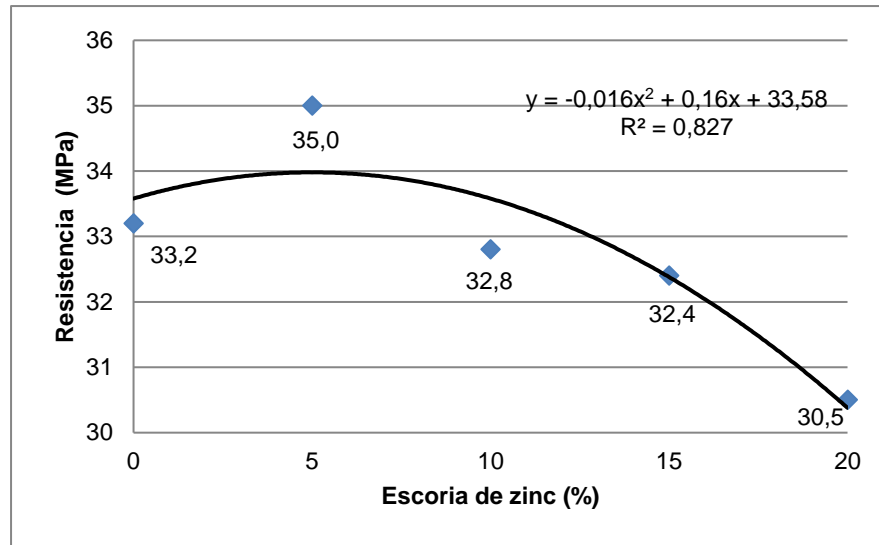


**Figura 26.** Línea de tendencia de resistencia a compresión a 3 días.

Se puede ver en la figura 26 que aumenta la resistencia a la compresión a 3 días, esto se debe a que conforme aumenta la sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I, aumenta la resistencia hasta el 5%, pero a medida que se sustituye más escoria a partir del 10% las resistencias a la compresión empiezan a disminuir. Ambas variables tienen una relación alta porque tienen un coeficiente de correlación de 0.90 dando por validado la influencia de la escoria de zinc en los diseños. También tiene un coeficiente de determinación de 0.80 esto quiere decir que un 80% de la caída de las resistencias a 3 días es por la sustitución de escoria de zinc y un 20% permite el aumento de la resistencia que se ve reflejado en el diseño al 5%.

Asimismo, los resultados individuales de cada diseño de resistencia a la compresión a 3 días se analizaron en base a la desviación estándar y rango máximo permisible cumpliendo con ambos parámetros establecidos por norma.

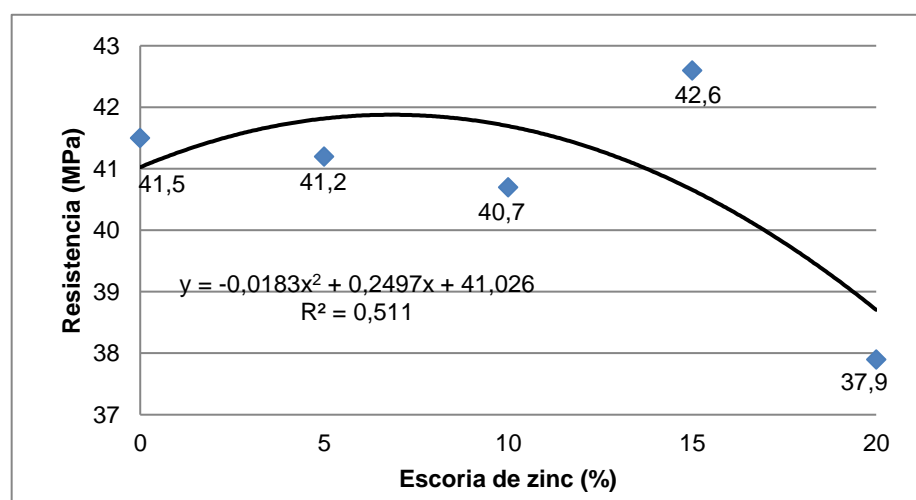




**Figura 27.** Línea de tendencia de resistencia a compresión a 7 días.

Se puede ver en la figura 27 que aumenta la resistencia a la compresión a 7 días, esto se debe a que conforme aumenta la sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I, aumenta la resistencia hasta el 5%, pero a medida que se sustituye más escoria a partir del 10% las resistencias a la compresión empiezan a disminuir. Ambas variables tienen una relación alta porque tiene un coeficiente de correlación de 0.91 dando por validado la influencia de la escoria de zinc en los diseños. También tiene un coeficiente de determinación de 0.83 esto quiere decir que un 83% de la caída de las resistencias a 7 días es por la sustitución de escoria de zinc y un 17% permite el aumento de resistencia que se ve reflejado en el diseño al 5%.

Asimismo, los resultados individuales de cada diseño de resistencia a la compresión a 7 días, se analizaron en base a la desviación estándar y rango máximo permisible cumpliendo con ambos parámetros establecidos por norma.



**Figura 28.** Línea de tendencia de resistencia a compresión a 28 días.

Se puede ver en la figura 28 que la escoria de zinc disminuye en la resistencia a la compresión a 28 días. Ambas variables tienen una relación regular porque tiene un coeficiente de correlación de 0.71 dando por validado la influencia de la escoria de zinc en los diseños. También tiene un coeficiente de determinación de 0.51 esto quiere decir que un 51% de la caída de las resistencias a 28 días es por la sustitución de escoria de zinc y un 49% permite el aumento de resistencia que se ve reflejado en el diseño al 15% (González, 2013)

Asimismo, los resultados individuales de cada diseño de resistencia a la compresión a 28 días se analizaron en base a la desviación estándar y rango máximo permisible cumpliendo con ambos parámetros establecidos por norma. Sin embargo al agrupar los resultados promedios de cada diseño, se puede observar una caída de las resistencias para los diseños de 5%, 10% y un ligero incremento de resistencias al 15 % de sustitución, por lo tanto al evaluar el coeficiente de variación desde el diseño patrón hasta el 15%, se obtuvo un coeficiente de variación de 1.93 y un rango máximo permisible de 4.58, estando todos resultados dentro del coeficiente de variación de 2.1 y rango máximo permisible de 7.6 establecidos en la norma de referencia, por lo tanto se valida que las resistencias del diseño patrón hasta el 15% de sustitución son equivalente y mantienen una estabilidad de resistencias. Lo contrario sucede con el 20% ya que genera una caída de las resistencias, estando fuera del coeficiente de variación.

## CONCLUSIONES

- Se determinó la influencia de la sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I en 5 dosificaciones, al 0%,5%,10%,15%y 20%, en la densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión. Donde se comprueba la buena reacción de la escoria de zinc con el cemento, en las propiedades físicas y químicas, que permite reducir un pasivo ambiental.
- Se realizó la caracterización de la escoria de zinc para verificar la manera correcta de su utilización en el cemento y para obtener datos previos del comportamiento del material, por lo tanto se realizó los ensayos de humedad donde se obtuvo 2.9%, densidad con 2.70 g/cm<sup>3</sup>, granulometría con un módulo de finura de 4.0, actividad puzolánica de 88% y fluorescencia de rayos x donde se obtuvieron los óxidos y componentes principales del cemento los cuales brindan un posible comportamiento del material en base a la cantidad de cada elemento. Con estos resultados sirven como antecedentes para posibles investigaciones de la escoria de zinc ya que hasta la actualidad han sido escasos en el estudio del cemento, que permite tener una idea clara del comportamiento del material.
- Se evaluó la densidad para comprobar las diferencias de masas de los diseños propuestos con respecto al cemento portland obteniendo la menor densidad del diseño de 20% de sustitución con 2.97 g/cm<sup>3</sup>, dando como resultado un material ligero. También se determinó la finura de los diseños para predecir el comportamiento de la resistencia durante los primeros 7 días, debido a que se sustituyó escoria de zinc a un tamaño menor de la malla N° 325 para mejorar las propiedades de resistencias iniciales ya que estas dependen del tamaño de las partículas más que de las propiedades químicas. En esta investigación se obtuvo el mayor incremento de la finura al 20% de sustitución con una superficie específica de 4660 cm<sup>2</sup>/g. Asimismo se realizó fluorescencia rayos x para evaluar las cantidades de los óxidos disponibles para la conformación de los componentes principales del cemento así como para poder controlar los posibles defectos que se produjo en la fabricación del clíncker que genera compuesto perjudiciales para el cemento, como los álcalis, obteniendo valores de K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, SO<sub>3</sub> en 0.77%, 0.38% y 2.24% respectivamente, asimismo se produjo una reducción del C<sub>3</sub>S, C<sub>3</sub>A con un valor mínimo de 35.08%, 6.94% y un aumento del C<sub>2</sub>S, C<sub>4</sub>AF con valores máximos de 22.53% y 11.48% para el diseño del 20% de sustitución.
- Se evaluó el tiempo de fraguado para obtener resultados del comportamiento de los componentes de la escoria de zinc con el cemento el cual es de gran importancia ya que permite conocer del tiempo que se dispone para la mezcla, transporte, colocación en obra de los morteros y hormigones, por lo tanto al evaluar los diferentes diseños se obtuvo que el mayor tiempo de fraguado inicial y final es en el diseño del 20% de sustitución, con 153 y 284 minutos respectivamente concluyendo que la escoria de zinc aumenta el tiempo de fraguado del cemento. También se evaluó la expansión del cemento para evitar la inestabilidad de volumen en el uso de cemento con escoria ya que puede generar

expansiones, hinchamientos el cual causa fisuraciones, agrietamientos e incluso rotura y desintegraciones, por ello al evaluar los diseños se encontró la expansión máxima en la muestras del 5% de sustitución con 0.040% estando dentro del parámetro de 0.80% de expansión máxima establecida por la NTP 334.090.

- Se realizó el ensayo de resistencia a la compresión para evaluar su propiedad física del mortero en sus diferentes diseños de 0%,5%,10%,15%, 20% a edades de 1 día, 3 días, 7 días y 28 días evaluando los efectos de la escoria del zinc en la resistencia del cemento, a diferentes edades para verificar el desarrollo de resistencias donde se obtuvieron las resistencias máximas a 1 día,3 días,7 días con un valor de 16.7 MPa , 29.2 MPa, 35.0 MPa en los diseños de 5%, y a 28 días se obtuvo la resistencia máxima de 42.6 MPa en el diseño de 15%. Asimismo se evaluó la fluidez del mortero para verificar la trabajabilidad de cada diseño verificando que la fluidez cae a medida que se incrementa la sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I obteniendo el menor valor de 107.1% para el diseño del 20%.
- En base a los resultados se escogió el óptimo porcentaje de sustitución, para aprovechar el uso de la escoria de zinc en el cemento, siendo de gran importancia para las empresas productoras de zinc a nivel mundial que buscan reducir su pasivo ambiental, es por ello que se propone su utilización hasta el 5% de sustitución de cemento, el cual es un porcentaje representativo. Si bien es cierto, se podría reemplazar hasta el 15% de escoria sin embargo optamos por un porcentaje menor para asegurar las propiedades físicas y químicas del material.

## RECOMENDACIONES

- Utilizar los porcentajes diseños de 0%, 5%, 10%, 15% y 20% como sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I, estudiados en esta investigación para el diseño de concreto.
- Hacer la prueba de calor de hidratación de los diferentes diseños basados en la norma NTP 334.064 que establece el procedimiento para determinar el calor de hidratación del cemento portland por mediciones de calor de disolución del cemento seco y calor de disolución de una porción de cemento parcialmente hidratada por 7 y 28 días.
- Resistencia a los sulfatos de todos los diseños basados en la norma NTP 334.094 la cual establece el método para determinar los cambios de longitud de barras de mortero sumergidas en soluciones sulfatadas, ya que esta se aplica a los morteros elaborados con cementos adicionados.
- Pruebas de contenido de aire con los diferentes diseños basados en la NTP 334.048 el cual establece el procedimiento para determinar el contenido de aire en morteros de cemento hidráulico.
- Análisis por vía húmeda de los diferentes diseños basados en la NTP 334.086 que establece los métodos de ensayo para el análisis químico de cemento hidráulico.
- Pruebas con la escoria de zinc en estado granulado como reemplazo de arena en el diseño de concreto en los porcentajes de 0%, 25%, 50% , 75% y 100%, permitiendo utilizar directamente la escoria en su estado granulado, para agilizar la reducción de un pasivo ambiental en mayor cantidad.
- Realizar molienda de clinker, yeso y escoria de zinc en diferentes dosificaciones para la elaboración de un nuevo cemento.
- Evaluar la resistencia a la compresión de morteros a 90 días de curado, para verificar el desarrollo de la escoria de zinc en el tiempo.
- Realizar prueba de lixiviación para asegurar el encapsulamiento del carbón de la escoria en la matriz cementante por tratarse de un pasivo ambiental.

## REFERENCIAS

- Abdelli, K., Tahlaiti, M., Belarbi, R., & Oudjit, M. (2017). Influence on the pozzolanic reactivity of the blast furnace slag (BFS) and metakaolin on mortars. *ScienceDirect*, 224-229.
- Ahmed, O., & Hamdy, A.-G. (2015). *El efecto de reemplazar arena por escoria de hierro*. Tayma.
- Alaejos, P., Cano, H., Sanchez, M., & Sinis, F. (2011). *Residuos utilizables en la construcción*. Madrid: CEDEX.
- Araujo, J. (2 de Mayo de 2011). *Revista Española de Cardiología*. Obtenido de <http://www.revespcardiol.org/es/las-particulas-ultrafinas-son-un/articulo/S0300893211004854/>
- Arzeni, C., Massidda, L., & Sanna, U. (1996). *Uso de escoria granulada del procesamiento de plomo y zinc en tecnología concreta*. Cagliari.
- Asociación de Productores de Cemento. (Junio de 2018). *ASOCEM*. Obtenido de <http://www.asocem.org.pe/>
- Bakieva, M., González Such, J., & Jornet, J. (2012). *SPSS: Anova de un factor*. Valencia, España.
- Biondi, A. (2016). Los cementos adicionado. *Construyendo caminos & obras*, 50-53.
- Bonavetti, V., Castellano, C., Donza, H., Rahhal, V., & Irassar, E. (2013). *El modelo de power y los límites del contenido de adición del material calcario en los cemento portland*. Buenos Aires: Concreto y cemento. Investigación y desarrollo.
- Borrás, C. (27 de Noviembre de 2017). *Ecología verde*. Obtenido de <https://www.ecologiaverde.com/cemento-ecologico-que-contamina-menos-123.html>
- Carneado, A. (2008). *Estudio técnico-económico de una fábrica de cemento portland para la obtención de 1.000.000 de TM al año*. Cataluña.
- Carrasco, F. (2007). *Materiales cementicios. Tecnología del hormigón*. Santa fe, Colombia.
- Carrasco, M., Bonavetti, V., Menendez, G., & Irassar, E. (2007). Contracción por secado de cementos a medida con material calcáreo y escoria granulada de alto horno. *Revista de construcción*, 73-87.
- Castellano, C., Bonavetti, V., & Irassar, E. (2011). Influencia de la temperatura de curado: hidratación y resistencia de pasta de cemento con escoria. *Matéria*, 516-526.
- Castellano, C., Bonavetti, V., & Irassar, e. (2013). Cementos mezclas: Influencia del tamaño de las partículas de escoria. *Scielo*.

- Castellano, C., Viviana, B., & Irassar, E. (2012). Influencia del contenido de agua en la evolución de la hidratación de pastas de cemento con escoria. *Revista de la construcción*, 64-74.
- Cinetíficas, C. S. (2011). *Materiales de Construcción*. Madrid: Formación Alcalá. Obtenido de <http://www.slideshare.net/jacc2209/agregados-12609474>
- Consejo Superior de Investigación. (2011). *Materiales de Construcción*. Madrid: Formación Alcalá. Obtenido de <http://www.slideshare.net/jacc2209/agregados-12609474>
- Croce, M. (1997). *Polución Ambiental y Asma*. Lima. Obtenido de [http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v58\\_n2/asma.htm#\\*](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/anales/v58_n2/asma.htm#*)
- Danze, A. (8 de Mayo de 2007). *IS-ARQuitectura*. Obtenido de <http://blog.is-arquitectura.es/2007/05/08/cemento-ecologico/>
- Enseñat, A. (1977). *La industria del cemento dentro de la problemática de la contaminación atmosférica*. España: Materiales de Construcción Revista.
- Fernández, M. (2011). *Hormigón*. Madrid.
- Gadea, J. (2010). *Seminario de Materiales de Construcción*. Burgos: Formación Alcalá.
- Gadea, J. (2010). *Seminario de Materiales de Construcción*. Burgos, España: Formación Alcalá.
- Gallardo, D., Cabrera, I., & Noel, B. (2013). Evaluación de impactos ambientales provocados por la actividad minera en. *Avances*, 98-116.
- Godo, R. (2011). *Tensión y Compresión*. Guatemala.
- Gómez, L., Iñiguez, C., & Lothenbach, B. (2015). Microestructura y propiedades mecánicas de cementos compuestos: Efecto de la reactividad de adiciones puzolánicas e hidráulicas. *Alconpat*, 18-30.
- González, M. (Septiembre de 2013). Estudio de una arena normal equivalente a la de ottawa. *Investigaciones sobre la arena normal*. Lima, Perú.
- Guo, L., Li, w., Yang, X., & Xu, W. (2018). Sodium silicate gel effect on cemented tailing backfill that contains lead-zinc smelting slag at early ages. *Hindawi*, 6.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *INEI*. Obtenido de <https://www.inei.gob.pe/>
- La Torre, G. (Junio de 1993). Riesgo e inestabilidad en el mercado del zinc. La paz, Bolivia.
- Laíne, P., Martínez, M., & Velásquez, G. (2012). *Influencia del uso de microsílíce en las propiedades en estado fresco y endurecido en concreto de alta resistencia*. San Salvador.

- López, C. (Mayo de 2000). Estudio de aditivo aluminosos en el clinker y propiedades del cemento portland. *Grado de maestría en ciencias con especialidad en ingeniería cerámica*. Nuevo leon, Mexico.
- Lopez, R., & Gonzales, E. (2008). *Manual de operaciones de calcinación de zinc*. Trujillo: Cementos Pacasmayo S.A.A.
- Lorca, P. (Julio de 2014). Efecto de la adición de hidróxido cálcico sobre mezclas con alta sustitución de cemento por cenizas volante. *Tesis doctoral*. Valencia, España.
- Mamlouk M., Z. J. (2009). *Materiales para Ingeniería Civil*. Madrid: Pearson Educación.
- Maureira, S. (Marzo de 2012). *Respuesta cíclica de arena de relaves en un amplio rango de presiones*. Santiago de Chile, Chile.
- Montero, R. (2 de Enero de 2018). *El Peruano*. Obtenido de <https://elperuano.pe/noticia-consumo-cemento-aumento-407-62644.aspx>
- Montoya, Y., Cadavid, A., & Astrid, M. (Julio de 2009). *Comportamiento mecánico y de fraguado de morteros de cemento pórtland gris tipo iii con aditivos*. Medellín.
- Morrison, C., Hopper, R., & Lardner, K. (2013). *El uso de escoria de ferrosilicato de la producción de zinc ISF como arena*. Watford.
- Narváez, M. (3 de Octubre de 2016). *CONACYT agencia informativa*. Obtenido de <http://www.conacytprensa.mx/index.php/tecnologia/materiales/10306-cementantes-ecologicos-para-construccion-sustentable>
- Neret, C. (Marzo de 2004). Caracterización de las escorias de fusión del proceso de producción de ferromniquel. *Informe final de curso en cooperación*. Sartenejas, Venezuela.
- NTP334.002. (2013). *Determinación de la finura del cemento Portland expresado por la superficie específica (aparato de permeabilidad al aire)*. Lima.
- NTP334.003. (2008). *Procedimiento para la obtención de pastas y morteros de consistencia plástica por mezcla mecánica*. Lima.
- NTP334.004. (2008). *Ensayo en autoclave para determinar la estabilidad de volumen*. Lima.
- NTP334.005. (2011). *Método de ensayo normalizado para determinar la densidad del cemento Pórtland*. Lima.
- NTP334.006. (2013). *Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja de Vicat*. Lima.
- NTP334.009. (2013). *Cemento Portland. Requisitos*. Lima.



- NTP334.051. (2013). *Metodos de ensayo para determinar la resistencia a la compresión de morteros de cemento Portland usando especímenes cúbicos de 50 mm de lado*. Lima.
- NTP334.057. (2011). *Método de ensayo para determinar la fluidez de morteros de cemento Portland*. Lima.
- NTP334.066. (2007). *Método de ensayo para determinar el índice de actividad puzolánica utilizando el cemento Portland*. Lima.
- NTP334.090. (2013). *Cemento Portland adicionados. Requisitos*. Lima.
- NTP400.12. (2001). *Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global*. Lima.
- Ogunbileje, J., Sadagoparamanujam, V., Anetor, J., Farombi, E., Akinosun, O., & Okorodudu, A. (2013). Lead, mercury, cadmium, chromium, nickel, copper, zinc, calcium, iron, manganese and chromium (IV) levels in Nigeria and United States of America cement dust. *Elsevier*, 2743-2749.
- Pachón, J. F. (2013). *Influencia de la ceniza volante (termotasajero), microsílíce y del tipo de curado en las propiedades mecánicas del concreto de alto desempeño*. Bogotá.
- Pérez, Á. F. (24 de Junio de 2016). *Granma*. Obtenido de <http://www.granma.cu/ciencia/2016-06-24/cemento-ecologico-un-logro-de-incalculable-valor-24-06-2016-22-06-51>
- Peruana, N. T. (2011). *Muestreo e inspección de cementos*. Lima: Indecopi.
- Qian, G., Delai Sun, D., & Hwa Tay, J. (2003). Immobilization of mercury and zinc in an alkali-activated slag matrix. *Elsevier*, 65-77.
- Rahhal, V., Pedrajas, C., Irassar, F., & Talero, R. (2014). Efecto de puzolanas naturales sobre la reología de pastas de cemento. *SciELO*.
- Rivera, G. (2010). *Tecnología Concreto y Mortero*. Mexico DF.
- Roberto, G. L. (2011). *Tensión y Compresión*. Guatemala.
- Rodriguez, A. (2013). *Fabricación del cemento portland*. Lima.
- Salamanca, R. (2001). *La tecnología de los mortero*. Bogotá.
- Sangrera, J., & Gaspar, D. (s.f.). Resistencia química del hormigón. *Materiales de construcción*, 29-47.
- Serrato, L. (2014). Candidato para el grado de Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental. *Utilización de escoria de horno de arco electrico en morteros a base cemento portland*. Nuevo Leon, Mexico.

- Serrato, L. (2014). Utilización de escoria de horno de arco eléctrico en morteros a base cemento portland . *Candidato para el grado de Maestría en Ciencias con Orientación en Ingeniería Ambiental*. Nuevo Leon, Mexico.
- Tobón, J., & Gómez, R. (2008). Desempeño del cemento portland adicionado con caliza de diferentes grados de pureza. *Dyna*, 177-184.
- Torres, J., Arley, E., & Ricardo, A. (2009). Evaluación de la actividad puzolánica de un residuo de la industria del petróleo. *Dyna*, 49-53.
- Universidad Privada del Norte. (2014). *Manual de estadística*. Lima.
- Universidad Privada del Norte. (2016). *Glosario de investigación*. Lima.
- Universidad Privada del Norte. (2016). *Manual de redaccio académica*. Lima.
- Vásquez, E. (2007). *Concreto de alto desempeño con elevado consumo de ceniza volante*. Mexico DF.
- Vicéns, J., Herrarte, A., & Medina, E. (2005). *Análisis de la varianza (ANOVA)*. Madrid.

## APENDICE

### Apéndice 1. Caracterización de la escoria

**Tabla 42.** Contenido de humedad natural de la escoria de zinc.

Replicas	1	2	3
Peso escoria húmedo + recipiente (g)	4,644.0	3640.3	4643.0
Peso escoria seco + recipiente (g)	4,528.5	3555.0	4528.0
Peso de recipiente (g)	644.0	640.3	643.0
Peso escoria húmedo (g)	4,000.0	3000.0	4000.0
Peso escoria seco (g)	3,884.5	2914.7	3885.0
Humedad (%)	2.97	2.92	2.96

**Tabla 43.** Resultado de densidad de la escoria de zinc.

Replicas	1	2	3
Masa (g)	60.00	59.00	60.00
Lectura inicial (ml)	0.60	0.50	0.40
Lectura final (ml)	22.80	22.30	22.70
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2.70	2.71	2.69

**Tabla 44.** Granulometría de la escoria de zinc

Tamiz estándar	Abertura (mm)	Peso retenido (g)	Retenido parcial (%)	Retenido acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)	NTP 400.037		Datos de la muestra	
						Agregado fino			
						Mínimo	Máximo		
3"	75.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100	100	<b>Identificación:</b>	Bandeja 1
2"	50.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100	100	<b>Descripción:</b>	Escoria de zinc
1 1/2"	37.500	0.000	0.000	0.000	100.000	100	100	<b>Procedencia:</b>	Pacasmayo
1"	25.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100	100		muestra escoria
3/4"	19.000	0.000	0.000	0.000	100.000	100	100		
1/2"	12.500	5.700	0.553	0.553	99.447	100	100	<b>Masa seca original:</b>	1030.0 g
3/8"	9.500	16.600	1.612	2.165	97.835	100	100	<b>Masa total:</b>	1029.5 g
Nº 4	4.750	151.800	14.738	16.903	83.097	95	100	<b>Diferencia</b>	0.0 %
Nº 8	2.360	265.800	25.806	42.709	57.291	80.	100		
Nº 16	1.180	273.000	26.505	69.214	30.786	50	85	<b>Características físicas</b>	
Nº 30	0.600	171.000	16.602	85.816	14.184	25	60	<b>Tamaño máx. nominal:</b>	
Nº 50	0.300	83.600	8.117	93.932	6.068	5	30		
Nº 100	0.150	31.700	3.078	97.010	2.990	0	10	<b>Contenido de humedad:</b>	3.0 %
Nº 200	0.075	19.300	1.874	98.883	1.117	0	5	<b>Observaciones</b>	
Fondo	-	11.000	1.068	99.951	0.049	0	0		
<b>Módulo finura</b>				4.0					

**Tabla 45.** Índice de actividad puzolánica de la escoria de zinc

Muestra	Días	Resistencia (Psi)	Promedio (Psi)	Resistencia (MPa)	Promedio (MPa)
Patrón	1	2046	2030	14.1	14.0
		2041		14.1	
		1990		13.7	
	3	3921	3960	27.0	27.3
		3953		27.3	
		4016		27.7	
	7	4677	4610	32.2	31.8
		4614		31.8	
		4549		31.4	
	28	5807	5790	40.0	39.9
		5791		39.9	
		5767		39.8	
Escoria	1	1278	1290	8.8	8.9
		1294		8.9	
		1302		9.0	
	3	3067	3050	21.2	21.0
		3058		21.1	
		3021		20.8	
	7	3917	3890	27.0	26.8
		3887		26.8	
		3853		26.6	
	28	5100	5070	35.2	34.9
		5068		34.9	
		5036		34.7	

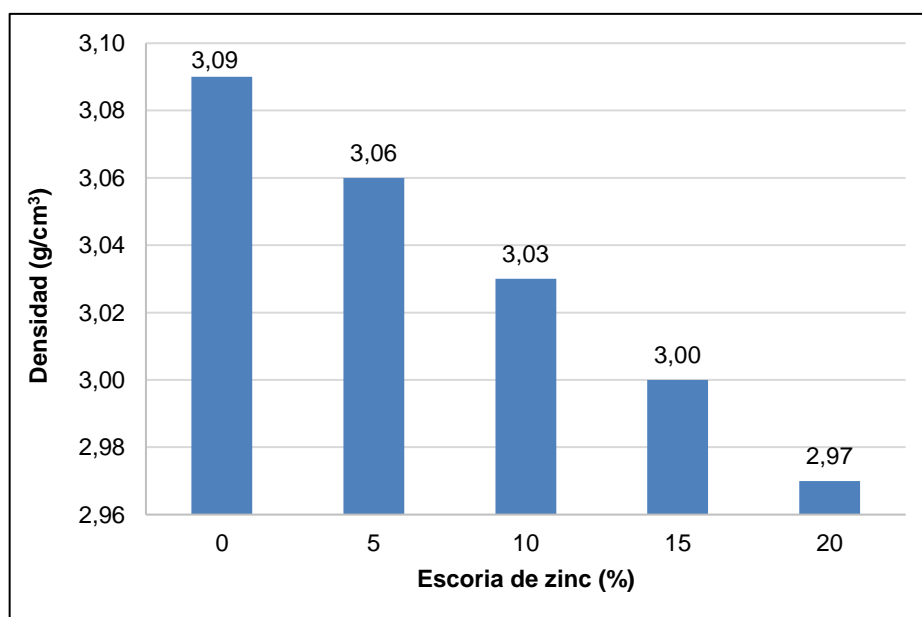
**Tabla 46.** Estadística de índice de actividad puzolánica de la escoria de zinc

NTP 334.051								
	Días	Promedio (Psi)	Promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Rango máximo (MPa)	Coefficiente de variación (%)	Rango máximo (%)	Coefficiente de variación máximo (%)
Patrón	1	2030	14.0	0.23	2.8	1.65	8.7	2.1
	3	3960	27.3	0.42	2.2	1.54	7.6	
	7	4610	31.8	0.57	2.6	1.79		
	28	5790	39.9	0.42	1.7	1.05		
Escoria	1	1290	8.9	0.1	1.9	1.12	8.7	2.1
	3	3050	21.0	0.28	1.6	1.33	7.6	
	7	3890	26.8	0.28	1.6	1.05		
	28	5070	34.9	0.35	1.3	1.00		

## Apéndice 2. Resultados de los ensayos al cemento más escoria de zinc

**Tabla 47.** Resultado de densidad del cemento con escoria de zinc

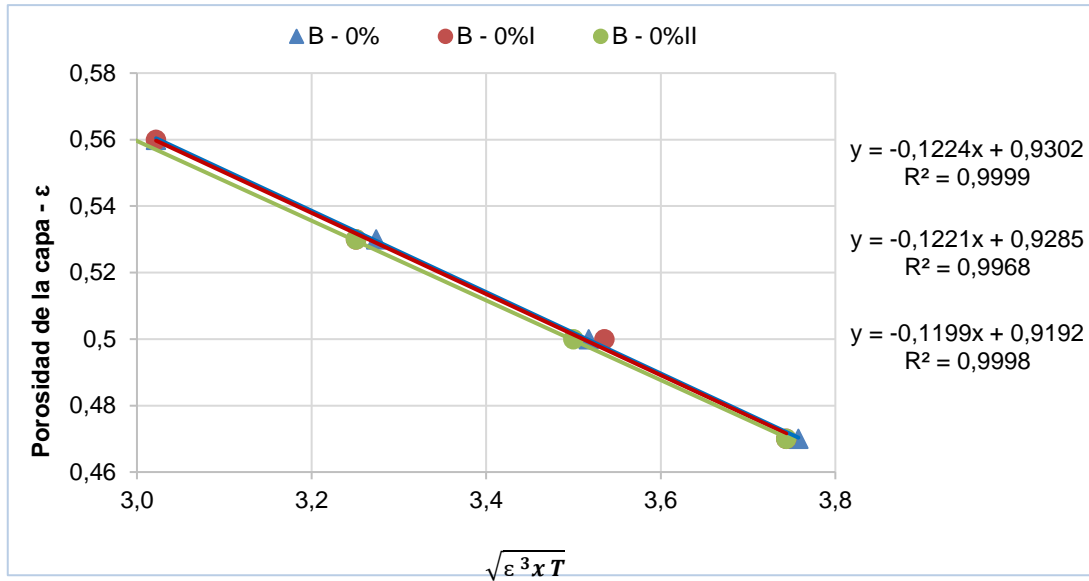
							NTP 334.005
	Masa (g)	Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	Lectura final (cm <sup>3</sup> )	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Densidad promedio (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación estándar (g/cm <sup>3</sup> )	Desviación estándar permisible (g/cm <sup>3</sup> )
0%	64.01	0.90	21.60	3.09	3.09	0.01	0.03
	64.00	1.00	21.80	3.08			
	64.00	1.00	21.70	3.09			
5%	60.06	1.00	20.60	3.06	3.06	0.00	
	60.05	1.00	20.65	3.06			
	60.00	1.00	20.60	3.06			
10%	60.04	1.00	20.80	3.03	3.03	0.01	
	60.03	0.85	20.70	3.02			
	60.02	0.95	20.75	3.03			
15%	60.00	0.80	20.75	3.01	3.00	0.01	
	60.00	0.85	20.90	2.99			
	60.01	0.80	20.80	3.00			
20%	60.00	0.50	20.80	2.96	2.97	0.01	
	60.00	0.60	20.80	2.97			
	60.02	0.50	20.70	2.97			



**Figura 29.** Densidad del cemento con escoria de zinc

**Tabla 48.** Tiempo de flujo de aire para la permeabilidad.

	B		Tiempo (s)			Tiempo promedio	$\sqrt{\varepsilon^3 x T}$		
	Porosidad	Peso (g)	t1	t2	t3	(s)	I	II	III
0%	0.56	2.468	52	52	51	52	3.022	3.022	2.993
	0.53	2.636	72	71	71	71	3.274	3.251	3.251
	0.50	2.805	99	100	98	99	3.518	3.536	3.500
	0.47	2.973	136	135	135	135	3.758	3.744	3.744
5%	0.56	2.444	56	55	56	56	3.136	3.108	3.136
	0.53	2.611	76	75	77	76	3.364	3.342	3.386
	0.50	2.777	104	104	105	104	3.606	3.606	3.623
	0.47	2.944	146	144	146	145	3.893	3.867	3.893
10%	0.56	2.420	57	58	58	58	3.164	3.192	3.192
	0.53	2.585	82	81	82	82	3.494	3.473	3.494
	0.50	2.750	112	113	114	113	3.742	3.758	3.775
	0.47	2.915	153	154	155	154	3.986	3.999	4.012
15%	0.56	2.396	60	59	61	60	3.246	3.219	3.273
	0.53	2.560	84	85	83	84	3.536	3.557	3.515
	0.50	2.723	117	117	118	117	3.824	3.824	3.841
	0.47	2.886	164	163	164	164	4.126	4.114	4.126
20%	0.56	2.372	65	65	64	65	3.379	3.379	3.353
	0.53	2.534	92	91	92	92	3.701	3.681	3.701
	0.50	2.696	128	127	126	127	4.000	3.984	3.969
	0.47	2.857	178	179	179	179	4.299	4.311	4.311

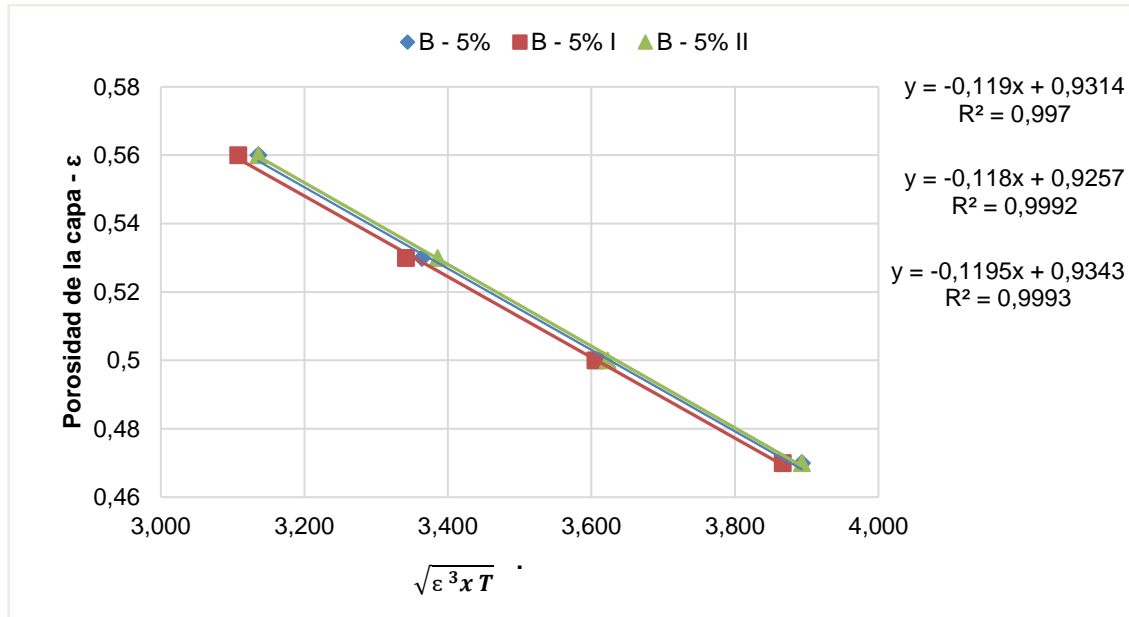


**Figura 30.** Determinación de la constante b al 0% de escoria

**Tabla 49.** Superficie específica al 0% de escoria de zinc

Replicas	N°	B-0%	B-0%I	B-0%II
Blaine estándar (cm <sup>2</sup> /g)	Ss	3818	3818	3818
Densidad estándar (g/cm <sup>3</sup> )	Ps	3.15	3.15	3.15
Factor b del estándar	Bs	0.9	0.9	0.9
Porosidad estándar	Es	0.5	0.5	0.5
Tiempo del estándar (s)	Ts	103	103	103
Densidad muestra (g/cm <sup>3</sup> )	P	3.09	3.09	3.09
Factor b de la muestra	B	0.93	0.93	0.92
Porosidad muestra	E	0.5	0.5	0.5
Tiempo de muestra (s)	Tm	99	100	98
	a =	16923.07	17008.32	16837.38
	b =	4.77	4.77	4.66
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g) =	3550	3567	3616
	Promedio blaine (cm <sup>2</sup> /g) =		3580	





**Figura 31.** Determinación de la constante b al 5% de escoria

**Tabla 50.** Superficie específica al 5% de escoria de zinc

Replicas	N°	B-5%	B-5%I	B-5%II
Blaine estándar (cm <sup>2</sup> /g)	Ss	3818	3818	3818
Densidad estándar (g/cm <sup>3</sup> )	ps	3.15	3.15	3.15
Factor b del estándar	bs	0.9	0.9	0.9
Porosidad estándar	es	0.5	0.5	0.5
Tiempo del estándar (s)	Ts	103	103	103
Densidad muestra (g/cm <sup>3</sup> )	p	3.06	3.06	3.06
Factor b de la muestra	b	0.93	0.93	0.93
Porosidad muestra	e	0.5	0.5	0.5
Tiempo de muestra (s)	Tm	104	104	105
	a =	17345.15	17345.15	17428.34
	b =	4.72	4.72	4.72
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g) =	3674	3674	3691
	Promedio blaine (cm <sup>2</sup> /g) =		3680	

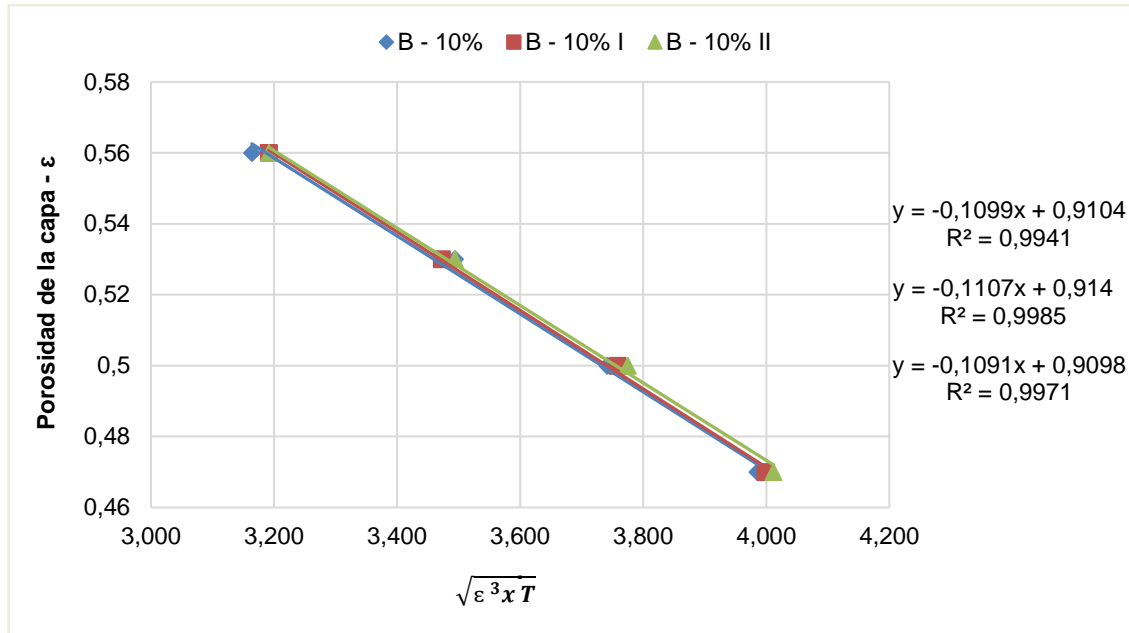


Figura 32. Determinación de la constante b al 10% de escoria

Tabla 51. Superficie específica al 10% de escoria de zinc

Replicas	N°	B-10%P	B-10%I	B-10%II
Blaine estándar (cm <sup>2</sup> /g)	Ss	3818	3818	3818
Densidad estándar (g/cm <sup>3</sup> )	ps	3.15	3.15	3.15
Factor b del estándar	bs	0.9	0.9	0.9
Porosidad estándar	es	0.5	0.5	0.5
Tiempo del estándar (s)	Ts	103	103	103
Densidad muestra (g/cm <sup>3</sup> )	p	3.03	3.03	3.03
Factor b de la muestra	b	0.91	0.91	0.91
Porosidad muestra	e	0.5	0.5	0.5
Tiempo de muestra (s)	Tm	112	113	114
	a =	17999.92	18080.09	18159.92
	b =	4.46	4.46	4.46
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g) =	4038	4056	4074
	Promedio blaine (cm <sup>2</sup> /g) =		4060	

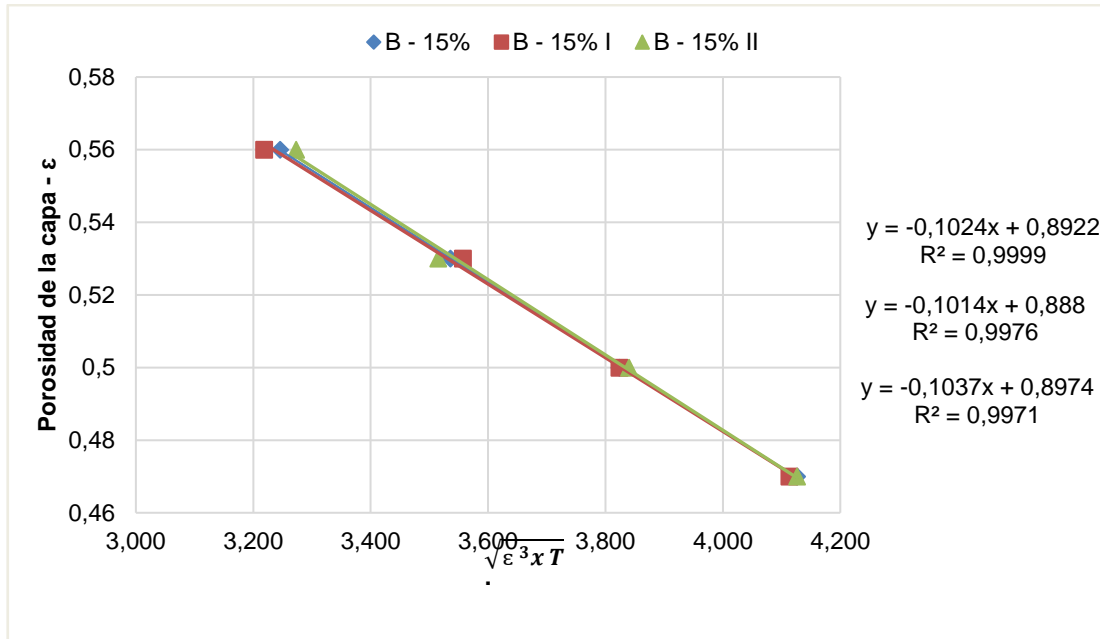


Figura 33. Determinación de la constante b al 15% de escoria

Tabla 52. Superficie específica al 15% de escoria de zinc

Replicas	N°	B-15%	B-15%I	B-15%II
Blaine estándar (cm <sup>2</sup> /g)	Ss	3818	3818	3818
Densidad estándar (g/cm <sup>3</sup> )	ps	3.15	3.15	3.15
Factor b del estándar	bs	0.9	0.9	0.9
Porosidad estándar	es	0.5	0.5	0.5
Tiempo del estándar (s)	Ts	103	103	103
Densidad muestra (g/cm <sup>3</sup> )	p	3.00	3.00	3.00
Factor b de la muestra	b	0.89	0.89	0.90
Porosidad muestra	e	0.5	0.5	0.5
Tiempo de muestra (s)	Tm	117	117	118
	a =	18397.31	18397.31	18475.77
	b =	4.20	4.20	4.31
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g) =	4382	4382	4291
	Promedio blaine (cm <sup>2</sup> /g) =		4360	



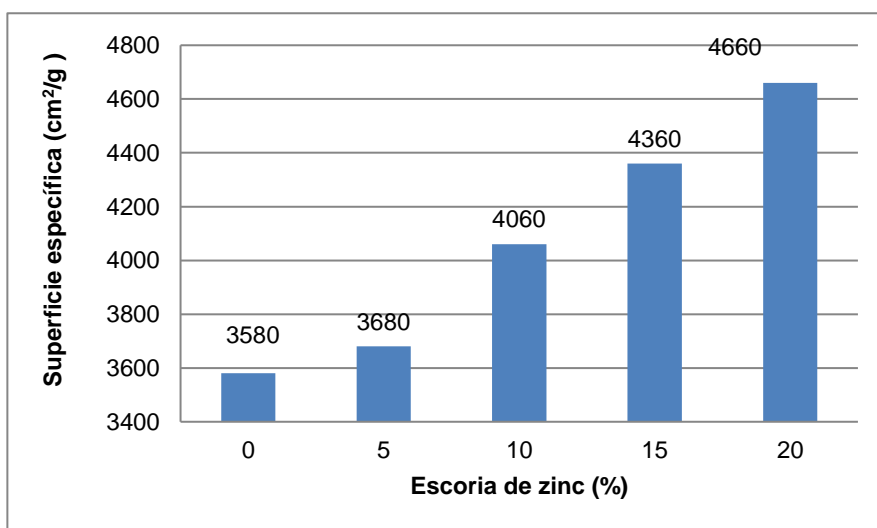
Figura 34. Determinación de la constante  $b$  al 20% de escoria

Tabla 53. Superficie específica al 20% de escoria de zinc

Replicas	N°	B-20%	B-20%I	B-20%II
Blaine estándar (cm <sup>2</sup> /g)	Ss	3818	3818	3818
Densidad estándar (g/cm <sup>3</sup> )	ps	3.15	3.15	3.15
Factor b del estándar	bs	0.9	0.9	0.9
Porosidad estándar	es	0.5	0.5	0.5
Tiempo del estándar (s)	Ts	103	103	103
Densidad muestra (g/cm <sup>3</sup> )	p	2.97	2.97	2.97
Factor b de la muestra	b	0.89	0.89	0.88
Porosidad muestra	e	0.5	0.5	0.5
Tiempo de muestra (s)	Tm	128	127	126
	a =	19242.72	19167.41	19091.79
	b =	4.16	4.16	4.05
	Blaine (cm <sup>2</sup> /g) =	4630	4612	4714
	Promedio blaine (cm <sup>2</sup> /g) =		4660	

**Tabla 54.** Finura de cemento con escoria de zinc

NTP 334.002								
Muestra	Replicas	Superficie específica (cm <sup>2</sup> /g)	Superficie específica promedio (cm <sup>2</sup> /g)	Desviación estándar (cm <sup>2</sup> /g)	Coficiente de variación (%)	Rango de especímenes (%)	Coficiente de variación máxima (%)	Rango máximo permisible (%)
0%	B-0%	3550	3580	36.06	1.01	1.85	1.2	3.4
	B-0%I	3567						
	B-0%II	3616						
5%	B-5%	3674	3680	11.55	0.31	0.48	1.2	3.4
	B-5% I	3674						
	B-5% II	3691						
10%	B-10%	4038	4060	20	0.49	0.88	1.2	3.4
	B-10% I	4056						
	B-10% II	4074						
15%	B-15%	4382	4360	51.96	1.19	2.10	1.2	3.4
	B-15% I	4382						
	B-15% II	4291						
20%	B-15%	4630	4660	55.08	1.18	2.21	1.2	3.4
	B-15% I	4612						
	B-15% II	4714						



**Figura 35.** Finura del cemento con escoria de zinc

### Apéndice 3. Ensayos a la pasta con escoria de zinc

**Tabla 55.** *Tiempo de fraguado de la pasta al 0% I*

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
0% I	10	160	15:55	16:10	40	130	268
				16:25	40		
				16:40	40		
				16:55	40		
				17:10	39		
				17:25	39		
				17:40	38		
				17:55	37		
				18:10	19		
				18:25	17		
				18:40	14		
				18:55	11		
				19:10	7		
				19:25	5		
				19:40	2		
19:55	1						
20:10	1						
20:23	0						

**Tabla 56.** *Tiempo de fraguado de la pasta al 0% II*

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
0% II	9	160	13:55	14:10	40	131	267
				14:25	40		
				14:40	40		
				14:55	40		
				15:10	40		
				15:25	39		
				15:40	39		
				15:55	38		
				16:10	20		
				16:25	18		
				16:40	16		
				16:55	12		
				17:10	10		
				17:25	9		
				17:40	5		
17:55	3						
18:10	1						
18:22	0						

**Tabla 57.** Tiempo de fraguado de la pasta al 0% III

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
0% III	9	160	16:02	16:17	40	133	270
				16:32	40		
				16:47	40		
				17:02	40		
				17:17	40		
				17:32	39		
				17:47	39		
				18:02	39		
				18:17	23		
				18:32	17		
				18:47	13		
				19:02	9		
				19:17	6		
				19:32	4		
				19:47	3		
				20:02	1		
20:17	1						
20:32	0						

**Tabla 58.** Tiempo de fraguado de la pasta 5% I

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
5% I	9	161	16:10	16:25	40	139	278
				16:40	40		
				16:55	40		
				17:10	40		
				17:25	40		
				17:40	39		
				17:55	38		
				18:10	37		
				18:25	28		
				18:40	17		
				18:55	12		
				19:10	9		
				19:25	6		
				19:40	2		
				19:55	2		
				20:10	1		
20:25	1						
20:40	1						
20:48	0						

**Tabla 59.** Tiempo de fraguado de la pasta 5% II

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
5% II	9	161	16:19	16:34	40	140	276
				16:49	40		
				17:04	40		
				17:19	40		
				17:34	39		
				17:49	39		
				18:04	37		
				18:19	34		
				18:34	29		
				18:49	16		
				19:04	13		
				19:19	11		
				19:34	9		
				19:49	6		
				20:04	2		
				20:19	1		
				20:34	1		
20:49	1						
20:55	0						

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
5% III	10	161	14:12	14:27	40	138	279
				14:42	40		
				14:57	40		
				15:12	40		
				15:27	40		
				15:42	39		
				15:57	37		
				16:12	32		
				16:27	27		
				16:42	20		
				16:57	16		
				17:12	11		
				17:27	8		
				17:42	2		
				17:57	2		
18:12	2						
18:27	1						
18:42	1						



18:51 0

**Tabla 60.** Tiempo de fraguado de la pasta 5% III

**Tabla 61.** Tiempo de fraguado de la pasta 10% I

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
10% I	10	161	16.24	16:39	40	140	279
				16:54	40		
				17:09	40		
				17:24	40		
				17:39	39		
				17:54	39		
				18:09	38		
				18:24	36		
				18:39	29		
				18:54	17		
				19:09	15		
				19:24	12		
				19:39	10		
				19:54	7		
				20:09	4		
				20:24	2		
20:39	2						
20:54	1						
21:03	0						

**Tabla 62.** Tiempo de fraguado de la pasta 10% II

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
10% II	11	161	16:38	16:53	40	142	280
				17:08	40		
				17:23	40		
				17:38	40		
				17:53	39		
				18:08	39		
				18:23	37		
				18:38	33		
				18:53	30		
				19:08	19		
				19:23	14		
				19:38	11		
				19:53	6		
				20:08	4		
				20:23	3		
				20:38	2		

20:53	2
21:08	2
21:18	0

**Tabla 63.** Tiempo de fraguado de la pasta 10% III

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
				14:45	40		
				15:00	40		
				15:15	40		
				15:30	40		
				15:45	40		
				16:00	39		
				16:15	37		
				16:30	34		
				16:45	31		
10% III	10	161	14:30	17:00	16	141	281
				17:15	13		
				17:30	11		
				17:45	8		
				18:00	5		
				18:15	3		
				18:30	2		
				18:45	2		
				19:00	1		
				19:11	0		

**Tabla 64.** Tiempo de fraguado de la pasta 15% I

Replica	Embolo (ml)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
				16:56	40		
				17:11	40		
				17:26	40		
				17:41	40		
				17:56	39		
				18:11	38		
				18:26	36		
				18:41	33		
				18:56	30		
15% I	9	161	16.41	19:11	19	142	280
				19:26	18		
				19:41	14		
				19:56	10		
				20:11	7		
				20:26	3		
				20:41	2		
				20:56	2		
				21:11	1		
				21:21	0		

**Tabla 65.** Tiempo de fraguado de la pasta 15% II

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
15% II	11	161	16:55	17:10	40	147	283
				17:25	40		
				17:40	39		
				17:55	39		
				18:10	39		
				18:25	38		
				18:40	37		
				18:55	35		
				19:10	32		
				19:25	23		
				19:40	17		
				19:55	13		
				20:10	8		
				20:25	5		
				20:40	3		
				20:55	2		
				21:10	2		
21:25	1						
21:38	0						

**Tabla 66.** Tiempo de fraguado de la pasta 15% III

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
15% III	10	161	14:37	14:52	40	144	279
				15:07	40		
				15:22	40		
				15:37	39		
				15:52	39		
				16:07	38		
				16:22	35		
				16:37	33		
				16:52	29		
				17:07	22		
				17:22	18		
				17:37	12		
				17:52	7		
				18:07	5		
				18:22	2		

18:37	2
18:52	1
19:07	1
19:16	0

**Tabla 67.** Tiempo de fraguado de la pasta 20% I

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración aguja(mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
				17:35	40		
				17:50	40		
				18:05	40		
				18:20	40		
				18:35	40		
				18:50	40		
				19:05	39		
				19:20	37		
				19:35	33		
<b>20% I</b>	10	161	17:20	19:50	25	150	282
				20:05	22		
				20:20	19		
				20:35	15		
				20:50	12		
				21:05	8		
				21:20	5		
				21:35	3		
				21:50	1		
				22:02	0		

**Tabla 68.** Tiempo de fraguado de la pasta 20% II

Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración (mm)	Fraguado inicial (min)	Fraguado final (min)
				17:28	40		
				17:43	40		
				17:58	40		
				18:13	40		
				18:28	40		
<b>20% II</b>	9	161	17:13	18:43	40	155	284
				18:58	39		
				19:13	39		
				19:28	35		
				19:43	31		
				19:58	19		
				20:13	15		

20:28	12
20:43	7
20:58	4
21:13	2
21:28	1
21:43	1
21:57	0

**Tabla 69.** Tiempo de fraguado de la pasta 20% III

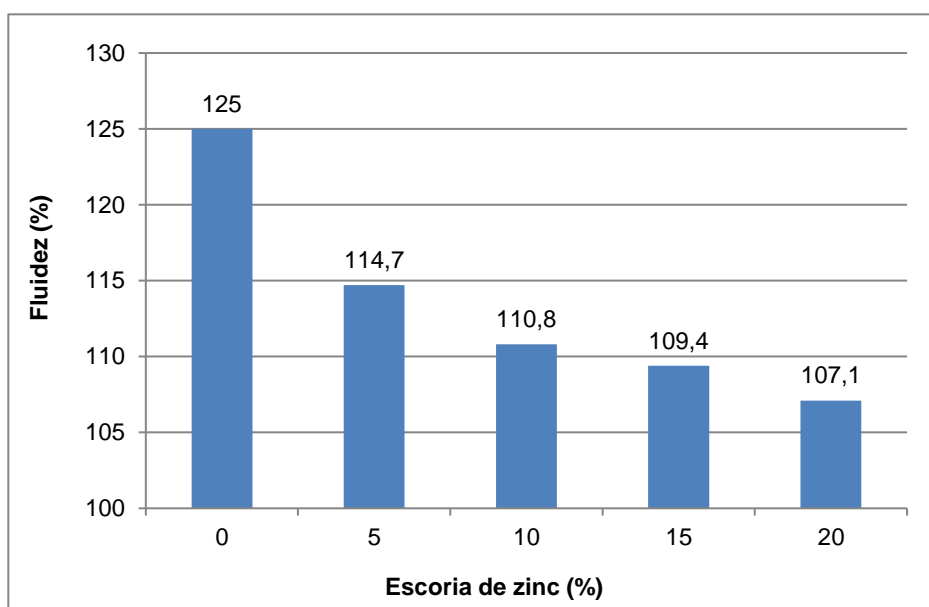
Replica	Embolo (mm)	H <sub>2</sub> O (ml)	Hora preparación	Hora inicio	Penetración (mm)	Fraguado inicial (mm)	Fraguado final (min)
				15:13	40		
				15:28	40		
				15:43	40		
				15:58	40		
				16:13	39		
				16:28	39		
				16:43	39		
				16:58	38		
				17:13	36		
<b>20% III</b>	9	161	14:58	17:28	29	153	286
				17:43	17		
				17:58	12		
				18:13	7		
				18:28	4		
				18:43	3		
				18:58	2		
				19:13	2		
				19:28	1		
				19:44	0		

**Tabla 70.** Expansión en autoclave de la pasta con escoria de zinc

<b>NTP 334.004</b>						
<b>Muestra</b>	<b>Lectura inicial (in)</b>	<b>Lectura final (in)</b>	<b>Expansión (%)</b>	<b>Expansión promedio (%)</b>	<b>Desviación estándar (%)</b>	<b>Desviación estándar permisible (%)</b>
<b>0%</b>	0.0879	0.0911	0.032	0.032	0.001	
	0.088	0.0911	0.031			
	0.0881	0.0913	0.032			
<b>5%</b>	0.0591	0.0628	0.037	0.040	0.003	
	0.0583	0.0626	0.043			
	0.0587	0.0627	0.040			
<b>10%</b>	0.0618	0.0654	0.039	0.039	0.002	0.07
	0.0612	0.0649	0.037			
	0.0606	0.0645	0.040			
<b>15%</b>	0.0572	0.0610	0.036	0.035	0.001	
	0.0565	0.0600	0.035			
	0.0569	0.0606	0.035			
<b>20%</b>	0.0639	0.0672	0.033	0.033	0.002	
	0.0646	0.0677	0.031			
	0.0634	0.0668	0.034			

**Tabla 71.** Resultado de la fluidez del mortero con escoria de zinc.

<b>NTP 334.057</b>								
<b>Muestra</b>	<b>Lectura 1 (mm)</b>	<b>Lectura 2 (mm)</b>	<b>Lectura 3 (mm)</b>	<b>Lectura 4 (mm)</b>	<b>Fluidez (%)</b>	<b>Fluidez promedio (%)</b>	<b>Desviación estándar (%)</b>	<b>Desviación estándar (%)</b>
<b>0%</b>	31.2	31.9	31.5	31.7	126.3	125.0	1.14	
	30.8	31.2	30.9	31.2	124.1			
	31.4	31.2	31.2	30.9	124.7			
<b>5%</b>	29.0	28.5	28.7	28.2	114.4	114.7	0.31	
	29.0	28.7	29.2	28.1	115.0			
	28.4	28.3	28.9	29.0	114.6			
<b>10%</b>	27.8	28.1	28.0	27.9	111.8	110.8	0.87	4.0
	27.8	27.4	27.5	27.9	110.6			
	27.2	27.3	27.8	27.8	110.1			
<b>15%</b>	27.3	27.0	27.0	26.9	108.2	109.4	1.06	
	27.4	27.7	27.5	27.2	109.8			
	27.5	27.3	27.7	27.7	110.2			
<b>20%</b>	26.8	27.2	27.1	26.7	107.8	107.1	0.7	
	26.5	26.5	27.0	27.2	107.2			
	26.2	26.8	26.5	26.9	106.4			



**Figura 36.** Fluidez del mortero con escoria de zinc

**Tabla 72.** Resistencia a la compresión del mortero con escoria de zinc

Muestra	Días	Replicas	Resistencias (Psi)	Promedio (Psi)	Resistencias (MPa)	Promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)
0%	1	P0	2248	2300	15.5	15.8	0.31
		P0	2306		15.9		
		P0	2335		16.1		
	3	P0-I	4032	3980	27.8	27.5	0.35
		P0-I	3989		27.5		
		P0-I	3931		27.1		
	7	P0-II	4807	4810	33.1	33.2	0.06
		P0-II	4807		33.1		
		P0-II	4815		33.2		
28	P0-III	6005	6010	41.4	41.5	0.21	
	P0-III	5990		41.3			
	P0-III	6048		41.7			
5%	1	P5	2466	2420	17.0	16.7	0.35
		P5	2422		16.7		
		P5	2364		16.3		
	3	P5-I	4221	4230	29.1	29.2	0.12
		P5-I	4221		29.1		
		P5-I	4250		29.3		
	7	P5-II	5076	5080	35.0	35.0	0.10
		P5-II	5091		35.1		
		P5-II	5062		34.9		
28	P5-III	6005	5980	41.4	41.2	0.20	
	P5-III	5976		41.2			
	P5-III	5947		41.0			
10%	1	P10	2176	2170	15.0	14.9	0.31
		P10	2205		15.2		
		P10	2118		14.6		
	3	P10-I	3803	3790	26.22	26.2	0.10
		P10-I	3803		26.22		
		P10-I	3777		26.04		
	7	P10-II	4786	4760	33.0	32.8	0.20
		P10-II	4728		32.6		
		P10-II	4757		32.8		
28	P10-III	5947	5900	41.0	40.7	0.31	
	P10-III	5910		40.8			
	P10-III	5852		40.4			
15%	1	P15	2147	2140	14.8	14.7	0.31
		P15	2089		14.4		



	P15	2176		15.0		
	P15-I	3595		24.8		
3	P15-I	3611	3630	24.9	25.0	0.26
	P15-I	3669		25.3		
	P15-II	4705		32.4		
7	P15-II	4670	4700	32.2	32.4	0.15
	P15-II	4720		32.5		
	P15-III	6205		42.8		
28	P15-III	6170	6180	42.5	42.6	0.21
	P15-III	6155		42.4		
	P20	1914		13.2		
1	P20	1958	1920	13.5	13.2	0.25
	P20	1885		13.0		
	P20-I	3481		24.0		
3	P20-I	3452	3480	23.8	24.0	0.20
	P20-I	3510		24.2		
	P20-II	4473		30.8		
7	P20-II	4398	4420	30.3	30.5	0.29
	P20-II	4400		30.3		
	P20-III	5453		37.6		
28	P20-III	5497	5500	37.9	37.9	0.30
	P20-III	5540		38.2		

**Tabla 73.** Estadística de la resistencia a la compresión del mortero con escoria de zinc

NTP 334.051							
Muestra	Días	Media promedio (MPa)	Desviación estándar (MPa)	Coefficiente de variación (%)	Rango de especímenes	Rango máximo permisible	Coefficiente de variación máxima
0%	1	15.8	0.31	1.96	3.8	8.7	
	3	27.5	0.35	1.8	2.5		
	7	33.2	0.06	0.6	0.3		
	28	41.5	0.21	0.68	1.0		
5%	1	16.7	0.35	2.10	4.2	8.7	
	3	29.2	0.12	0.72	0.7		
	7	35.0	0.10	0.20	0.6		
	28	41.2	0.20	0.68	1.0		
10%	1	14.9	0.31	2.08	4.0	8.7	2.1
	3	26.2	0.10	0.27	0.7		
	7	32.8	0.20	0.43	1.2		
	28	40.7	0.31	2.09	1.5		
15%	1	14.7	0.31	2.10	4.1	8.7	
	3	25.0	0.26	1.68	2.0		
	7	32.4	0.15	0.22	0.9		
	28	42.6	0.21	0.66	0.9		
20%	1	13.2	0.25	1.89	3.8	8.7	
	3	24.0	0.20	1.17	1.7		
	7	30.5	0.29	1.15	1.6		
	28	37.9	0.30	1.11	1.6		

#### **Apéndice 4.** Cálculo de los componentes principales del cemento: Bogue.

##### **Cálculo de óxidos de cemento con el 0% de escoria de zinc**

$$\text{Silicato tricálcico (C}_3\text{S)} = (4.071 \times 59.4) - (7.600 \times 20.87) - (6.718 \times 4.51) - (1.430 \times 2.93) - (2.852 \times 2.64) = 41.19$$

$$\text{Silicato dicálcico (C}_2\text{S)} = (2.867 \times 20.87) - (0.7544 \times 41.19) = 28.76$$

$$\text{Aluminato tricálcico (C}_3\text{A)} = (2.650 \times 4.51) - (1.692 \times 2.93) = 6.99$$

$$\text{Aluminoferrito tetracálcico (C}_4\text{AF)} = 3.043 \times 2.93 = 8.92$$

##### **Cálculo de óxidos de cemento con el 5% de escoria de zinc**

$$\text{Silicato tricálcico (C}_3\text{S)} = (4.071 \times 58.26) - (7.600 \times 21.11) - (6.718 \times 4.63) - (1.430 \times 3.13) - (2.852 \times 2.53) = 33.94$$

$$\text{Silicato dicálcico (C}_2\text{S)} = (2.867 \times 21.11) - (0.7544 \times 33.94) = 34.91$$

$$\text{Aluminato tricálcico (C}_3\text{A)} = (2.650 \times 4.63) - (1.692 \times 3.13) = 6.97$$

$$\text{Aluminoferrito tetracálcico (C}_4\text{AF)} = 3.043 \times 3.13 = 9.52$$

##### **Cálculo de óxidos de cemento con el 10% de escoria de zinc**

$$\text{Silicato tricálcico (C}_3\text{S)} = (4.071 \times 57.12) - (7.600 \times 21.30) - (6.718 \times 4.76) - (1.430 \times 3.34) - (2.852 \times 2.44) = 26.94$$

$$\text{Silicato dicálcico (C}_2\text{S)} = (2.867 \times 21.30) - (0.7544 \times 26.94) = 40.74$$

$$\text{Aluminato tricálcico (C}_3\text{A)} = (2.650 \times 4.76) - (1.692 \times 3.34) = 6.96$$

$$\text{Aluminoferrito tetracálcico (C}_4\text{AF)} = 3.043 \times 3.34 = 10.16$$

##### **Cálculo de óxidos de cemento con el 15% de escoria de zinc**

$$\text{Silicato tricálcico (C}_3\text{S)} = (4.071 \times 55.91) - (7.600 \times 21.60) - (6.718 \times 4.89) - (1.430 \times 3.55) - (2.852 \times 2.33) = 18.88$$

$$\text{Silicato dicálcico (C}_2\text{S)} = (2.867 \times 21.60) - (0.7544 \times 18.88) = 47.69$$

$$\text{Aluminato tricálcico (C}_3\text{A)} = (2.650 \times 4.89) - (1.692 \times 3.55) = 6.95$$

$$\text{Aluminoferrito tetracálcico (C}_4\text{AF)} = 3.043 \times 3.55 = 10.80$$

#### **Cálculo de óxidos de cemento con el 20% de escoria de zinc**

$$\text{Silicato tricálcico (C}_3\text{S)} = (4.071 \times 54.71) - (7.600 \times 21.82) - (6.718 \times 5.02) - (1.430 \times 3.76) - (2.852 \times 2.24) = 11.40$$

$$\text{Silicato dicálcico (C}_2\text{S)} = (2.867 \times 21.82) - (0.7544 \times 11.40) = 53.96$$

$$\text{Aluminato tricálcico (C}_3\text{A)} = (2.650 \times 5.02) - (1.692 \times 3.76) = 6.94$$

$$\text{Aluminoferrito tetracálcico (C}_4\text{AF)} = 3.043 \times 3.76 = 11.44$$

#### **Apéndice 5. Procedimiento estadístico de los datos por Anova**

Se utilizará el programa SPSS para corroborar la normalidad de los datos. La variable aleatoria es numérica estando dentro de pruebas paramétricas por lo tanto se realizara el método estadístico ANOVA unifactorial.

- **Densidad, análisis estadístico.**

#### **Hipótesis**

**H<sub>1</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I disminuye la densidad, Trujillo 2018.

**H<sub>0</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no disminuye la densidad, Trujillo 2018.

Donde

H<sub>1</sub>: Hipótesis alternativa

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula

#### **SPSS – Shapiro Wilk**

$$\text{Densidad} = 0,967 > \alpha = 0.05$$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

#### **Análisis de varianza**

**Tabla 74.** Varianza de la densidad del cemento con escoria de zinc

	Densidad (gr/cm <sup>3</sup> )			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	Xi	x-
0%	3.09	3.08	3.09	9.26	3	3.0867	
5%	3.06	3.06	3.06	9.18	3	3.0600	
10%	3.03	3.02	3.03	9.08	3	3.0267	
15%	3.01	2.99	3.00	9	3	3.0000	
20%	2.96	2.97	2.97	8.9	3	2.9667	3.0280

#### Cálculo de suma de cuadrados

- $$SCE = \sum_{j=1}^r n_j (\bar{x}_j - \bar{x}_{..})^2$$

$$SCE = 3(3.09-3.028)^2 + 3(3.06-3.028)^2 + 3(3.03-3.028)^2 + 3(3.00-3.028)^2 + 3(2.97-3.028)^2$$

$$SCE = 0.0270$$

- $$SCD = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^r n_j \bar{x}_j^2$$

$$SCD = (3.09^2 + 3.08^2 + 3.09^2 + 3.06^2 + 3.06^2 + 3.06^2 + 3.03^2 + 3.02^2 + 3.03^2 + 3.01^2 + 2.99^2 + 3.00^2 + 2.96^2 + 2.97^2 + 2.97^2) - (3 \times 3.09^2 + 3 \times 3.06^2 + 3 \times 3.03^2 + 3 \times 3.00^2 + 3 \times 2.97^2)$$

$$SCD = 137.5592 - 137.5588 = 0.0004$$

- $$SCT = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$$

$$SCT = SCE + SCD$$

$$SCT = 0.0270 + 0.0004 = 0.0274$$

#### Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) ----- 5-1 = 4
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) ----- 15-3 = 12
- Grados de libertad total (GLT) ----- 15-1 = 14

#### Cálculo de los cuadros medios

- Cuadrado medio entre grupos (CME)

$$\frac{SCE}{GLE} = \frac{0.0270}{4} = 0.00676$$

- Cuadrado medio dentro de grupos (CMD)

$$\frac{SCD}{GLD} = \frac{0.0004}{12} = 0.00003$$

### Estadístico de contraste F

$$F = \frac{MEE}{CMD} = \frac{0.00676}{0.00003} = 202.80$$

### Cálculo de coeficiente de determinación

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{0.0270}{0.0274} \times 100 = 98.54\%$$

*Tabla 75. Anova de la densidad del cemento con escoria de zinc*

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	0.0270	4	0.00676	202.80	3.26
Dentro grupos	0.0004	12	0.00003		
Total	0.0274	14			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

**Se acepta H<sub>1</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I disminuye la densidad, Trujillo 2018.

**Se rechaza H<sub>0</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no disminuye la densidad, Trujillo 2018.

- **Finura, análisis estadístico.**

#### Hipótesis

**H<sub>1</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la finura, Trujillo 2018.

**H<sub>0</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la finura, Trujillo 2018.

Donde

H<sub>1</sub>: Hipótesis alternativa

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula

### SPSS – Shapiro Wilk

$$\text{Finura} = 0,690 > \alpha = 0.05$$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

### Análisis de varianza

**Tabla 76.** Varianza de la finura del cemento con escoria de zinc

	Permeabilidad al aire (cm <sup>2</sup> /gr)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	Xi	x-
<b>0%</b>	3550	3567	3616	10733	3	3577.6667	
<b>5%</b>	3674	3674	3691	11039	3	3679.6667	
<b>10%</b>	4038	4056	4074	12168	3	4056.0000	4063.4000
<b>15%</b>	4382	4382	4291	13055.00	3	4351.6667	
<b>20%</b>	4630	4612	4714	13956	3	4652.0000	

### Cálculo de suma de cuadrados

- $$SCE = SCE = \sum_{j=1}^r n_j (\bar{x}_j - \bar{x}_.)^2$$

$$SCE = 3(3577.6667 - 4063.4)^2 + 3(3679.6667 - 4063.4)^2 + 3(4056 - 4063.4)^2 + 3(4351.6667 - 4063.4)^2 + 3(4652 - 4063.4)^2$$

$$SCE = 2438371.60000$$
- $$SCD = SCD = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^r n_j \bar{x}_j^2$$

$$SCD = (3550^2 + 3567^2 + 3616^2 + 3674^2 + 3674^2 + 3691^2 + 4038^2 + 4056^2 + 4074^2 + 4382^2 + 4382^2 + 4291^2 + 4630^2 + 4612^2 + 4714^2) - (3 \times 3577.6667^2 + 3 \times 3679.6667^2 + 3 \times 4056^2 + 3 \times 4351.6667^2 + 3 \times 4652^2)$$

$$SCD = 250121303 - 250106665 = 14638.00000$$

- $SCT = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$

$$SCT = SCE + SCD$$

$$SCT = 2438371.60000 + 14638.00000 = 2453009.60000$$

### Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) ----- 5-1 = 4
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) ----- 15-3 = 12
- Grados de libertad total (GLT) ----- 15-1 = 14

### Cálculo de los cuadros medios

- Cuadrado medio entre grupos (CME)

$$\frac{SCE}{GLE} = \frac{2438371.60000}{4} = 609592.90000$$

- Cuadrado medio dentro de grupos (CMD)

$$\frac{SCD}{GLD} = \frac{14638.00000}{12} = 1219.83333$$

### Estadístico de contraste F

$$F = \frac{CME}{CMD} = \frac{609592.90000}{1219.83333} = 499.73$$

### Cálculo de coeficiente de determinación

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{2438371.60000}{2453009.60000} \times 100 = 99.40\%$$

**Tabla 77.** Anova de la finura del cemento con escoria de zinc

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
<b>Entre grupos</b>	2438371.60000	4	609592.90000	499.73	3.26
<b>Dentro grupos</b>	14638.00000	12	1219.83333		
<b>Total</b>	2453009.60000	14			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

**Se acepta H<sub>1</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la finura, Trujillo 2018.

**Se rechaza H<sub>0</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la finura, Trujillo 2018.

- **Expansión, análisis estadístico.**

**Hipótesis**

**H<sub>1</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la expansión, Trujillo 2018.

**H<sub>0</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la expansión, Trujillo 2018.

Donde

H<sub>1</sub>: Hipótesis alternativa

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula

**SPSS – Shapiro Wilk**

$$\text{Expansion} = 0,415 > \alpha = 0.05$$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

**Análisis de varianza**



**Tabla 78.** Varianza de la expansión de la pasta con escoria de zinc

	Expansión (%)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	$\bar{X}_i$	$\bar{x}$
0%	0.032	0.031	0.032	0.095	3	0.0317	0.0357
5%	0.037	0.043	0.040	0.120	3	0.0400	
10%	0.039	0.037	0.040	0.116	3	0.0387	
15%	0.036	0.035	0.035	0.110	3	0.0353	
20%	0.033	0.031	0.034	0.098	3	0.0327	

### Cálculo de suma de cuadrados

- $$SCE = \sum_{j=1}^r n_j (\bar{x}_j - \bar{x}_{..})^2$$

$$SCE = 3(0.0317 - 0.0357)^2 + 3(0.0400 - 0.0357)^2 + 3(0.0387 - 0.0357)^2 + 3(0.0353 - 0.0357)^2 + 3(0.0327 - 0.0357)^2$$

$$SCE = 0.00016$$
- $$SCD = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_j)^2 = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^r n_j \bar{x}_j^2$$

$$SCD = (0.032^2 + 0.031^2 + 0.032^2 + 0.037^2 + 0.043^2 + 0.040^2 + 0.039^2 + 0.037^2 + 0.040^2 + 0.036^2 + 0.035^2 + 0.035^2 + 0.033^2 + 0.031^2 + 0.034^2) - (3 \times 0.0317^2 + 3 \times 0.0400^2 + 3 \times 0.0387^2 + 3 \times 0.0353^2 + 3 \times 0.0327^2)$$

$$SCD = 0.01927 - 0.01924 = 0.00003$$
- $$SCT = \sum_{j=1}^r \sum_{i=1}^{n_j} (x_{ij} - \bar{x}_{..})^2$$

$$SCT = SCE + SCD$$

$$SCT = 0.00016 + 0.00003 = 0.00019$$

### Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) ----- 5-1 = 4
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) ----- 15-3 = 12
- Grados de libertad total (GLT) ----- 15-1 = 14

### Cálculo de los cuadros medios

- Cuadrado medio entre grupos (CME)

$$\frac{SCE}{GLE} = \frac{0.00014}{4} = 0.000040$$

- Cuadrado medio dentro de grupos (CMD)

$$\frac{SCD}{GLD} = \frac{0.00004}{12} = 0.000002$$

### Estadístico de contraste F

$$F = \frac{MEE}{CMD} = \frac{0.000040}{0.000002} = 16.60$$

### Cálculo de coeficiente de determinación

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = \frac{0.00016}{0.00019} \times 100 = 84.70\%$$

**Tabla 79.** Anova de la expansión de la pasta con escoria de zinc

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	0.00016	4	0.000040	16.60	3.26
Dentro grupos	0.00003	12	0.000002		
Total	0.00019	14			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

**Se acepta H<sub>1</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la expansión, Trujillo 2018.

**Se rechaza H<sub>0</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la expansión, Trujillo 2018.

- **Fraguado inicial, análisis estadístico.**

### Hipótesis

**H<sub>1</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta el fraguado inicial, Trujillo 2018.

$H_0$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta el fraguado inicial, Trujillo 2018.

Donde

$H_1$ : Hipótesis alternativa

$H_0$ : Hipótesis nula

### SPSS – Shapiro Wilk

Fraguado inicial= 0,944 >  $\alpha = 0,05$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

### Análisis de varianza

**Tabla 80.** Varianza del fraguado inicial de la pasta con escoria de zinc

	Fraguado inicial (min)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	$\sum x_i$	x-
0%	130	133	131	394	3	131	
5%	139	140	138	417	3	139	
10%	140	142	141	423	3	141	142
15%	142	147	144	433	3	144	
20%	150	155	153	458	3	153	

### Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) -----  $5-1 = 4$
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) -----  $15-3 = 12$
- Grados de libertad total (GLT) -----  $15-1 = 14$

**Tabla 81.** Anova del fraguado inicial de la pasta con escoria de zinc

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
--	-------------------	------	----------------	---------	-----------

<b>Entre grupos</b>	727.3333	4	181.8333	64.18	3.26
<b>Dentro grupos</b>	34	12	2.8333		
<b>Total</b>	761.3333	14			

Como el  $F_{EXPERIMENTAL} > F_{TEORICO}$

**Se acepta  $H_1$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta el fraguado inicial, Trujillo 2018.

**Se rechaza  $H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta el fraguado inicial, Trujillo 2018.

- **Fraguado final, análisis estadístico.**

**Hipótesis**

**$H_1$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta el fraguado final, Trujillo 2018.

**$H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta el fraguado final, Trujillo 2018.

Donde

$H_1$ : Hipótesis alternativa

$H_0$ : Hipótesis nula

**SPSS – Shapiro Wilk**

$$\text{Fraguado final} = 0,255 > \alpha = 0,05$$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

**Análisis de varianza**

**Tabla 82.** Varianza del fraguado final de la pasta con escoria de zinc

	Fraguado final (min)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	$\bar{X}_i$	$s^2$
<b>0%</b>	268	270	267	805	3	268	
<b>5%</b>	278	276	279	833	3	278	278
<b>10%</b>	279	280	281	840	3	280	

15%	280	283	279	842	3	281
20%	282	284	286	852	3	284

### Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) -----  $5-1 = 4$
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) -----  $15-3 = 12$
- Grados de libertad total (GLT) -----  $15-1 = 14$

**Tabla 83.** Anova del fraguado final de la pasta con escoria de zinc

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	421.7333	4	105.4333	45.19	3.26
Dentro grupos	28	12	2.3333		
Total	449.7333	14			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

**Se acepta  $H_1$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta el fraguado final, Trujillo 2018.

**Se rechaza  $H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta el fraguado final, Trujillo 2018.

- **Fluidez, análisis estadístico.**

#### Hipótesis

$H_1$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I disminuye la fluidez, Trujillo 2018.

$H_0$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no disminuye la fluidez, Trujillo 2018.

Donde

$H_1$ : Hipótesis alternativa

$H_0$ : Hipótesis nula

### SPSS – Shapiro Wilk

$$\text{Fluidez} = 0.276 > \alpha = 0.05$$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

### Análisis de varianza

**Tabla 84.** Varianza de la fluidez del mortero con escoria de zinc

	Fluidez (%)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	Xi	x-
<b>0%</b>	126.3	124.1	124.7	375.1	3	125.0333	
<b>5%</b>	114.4	115.0	114.6	344.0	3	114.6667	
<b>10%</b>	111.8	110.6	110.1	332.5	3	110.8333	113.4133
<b>15%</b>	108.2	109.8	110.2	328.2	3	109.4000	
<b>20%</b>	107.8	107.2	106.4	321.4	3	107.1333	

### Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) -----  $5-1 = 4$
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) -----  $15-3 = 12$
- Grados de libertad total (GLT) -----  $15-1 = 14$

**Tabla 85.** Anova de la fluidez del mortero con escoria de zinc

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
<b>Entre grupos</b>	596.39037	4	149.0976	237.71	3.26
<b>Dentro grupos</b>	7.5267	12	0.6272		
<b>Total</b>	603.91733	14			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

**Se acepta: H<sub>1</sub>:** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I disminuye la fluidez, Trujillo 2018.

**Se rechaza  $H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no disminuye la fluidez, Trujillo 2018.

- **Compresión a 1 día de curado, análisis estadístico**

**Hipótesis**

$H_1$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la compresión a 1 día de curado, Trujillo 2018.

$H_0$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la compresión a 1 día de curado, Trujillo 2018.

Donde

$H_1$ : Hipótesis alternativa

$H_0$ : Hipótesis nula

**SPSS – Shapiro Wilk**

Compresión a 1 día = 0,936 >  $\alpha = 0,05$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

**Análisis de varianza**

*Tabla 86. Varianza de compresión a 1 día de curado del mortero con escoria de zinc.*

	Compresión a 1 día de curado (MPa)				Análisis de varianza		
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	$\bar{X}_i$	x-
0%	15.5	15.9	16.1	47.5	3	15.8333	
5%	17.0	16.7	16.3	50.0	3	16.6667	
10%	15.0	15.2	14.6	44.8	3	14.9333	15.0800
15%	14.8	14.4	15.0	44.2	3	14.7333	
20%	13.2	13.5	13	39.7	3	13.2333	

**Cálculo de grados de libertad**

- Grados de libertad entre grupos (GLE) -----  $5-1 = 4$
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) -----  $15-3 = 12$
- Grados de libertad total (GLT) -----  $15-1 = 14$

*Tabla 87. Anova de compresión a 1 día de curado del mortero con escoria de zinc*

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
Entre grupos	19.9107	4	4.9777	64.00	3.26
Dentro grupos	0.9333	12	0.0778		
Total	20.8440	14			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

**Se acepta  $H_1$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la compresión a 1 día de curado, Trujillo 2018.

**Se rechaza  $H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la compresión a 1 día de curado, Trujillo 2018.

- **Compresión a 3 días de curado, análisis estadístico.**

#### Hipótesis

$H_1$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la compresión a 3 días de curado, Trujillo 2018.

$H_0$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la compresión a 3 días de curado, Trujillo 2018.

Donde

$H_1$ : Hipótesis alternativa

$H_0$ : Hipótesis nula

#### SPSS – Shapiro Wilk

Compresión a 3 días = 0,937 >  $\alpha = 0,05$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

#### Análisis de varianza

**Tabla 88.** Varianza de compresión a 3 días de curado del mortero con escoria de zinc

	Compresión a 3 días de curado (MPa)			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	$\sum X_i$	$\bar{x}$
0%	27.8	27.5	27.1	82.4	3	27.4667	26.3587



<b>5%</b>	29.1	29.1	29.3	87.5	3	29.1667
<b>10%</b>	26.2	26.2	26.0	78.5	3	26.1600
<b>15%</b>	24.8	24.9	25.3	75.0	3	25.0000
<b>20%</b>	24.0	23.8	24.2	72.0	3	24.0000

### Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) -----  $5-1 = 4$
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) -----  $15-3 = 12$
- Grados de libertad total (GLT) -----  $15-1 = 14$

**Tabla 89.** Anova de compresión a 3 días del mortero con escoria de zinc

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
<b>Entre grupos</b>	49.6838	4	12.4210	289.46	3.26
<b>Dentro grupos</b>	0.5149	12	0.0429		
<b>Total</b>	50.1988	14			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

**Se acepta  $H_1$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la compresión a 3 días, Trujillo 2018.

**Se rechaza  $H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la compresión a 3 días, Trujillo 2018.

- **Compresión a 7 días de curado, análisis estadístico.**

### Hipótesis

**$H_1$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la compresión a 7 días, Trujillo 2018.

**$H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la compresión a 7 días, Trujillo 2018.

Donde

H<sub>1</sub>: Hipótesis alternativa

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula

### SPSS – Shapiro Wilk

Compresión a 7 días = 0,877 >  $\alpha = 0,05$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

### Análisis de varianza

**Tabla 90.** Varianza de compresión a 7 días de curado del mortero con escoria de zinc.

	Compresión a 7 días de curado				Análisis de varianza		
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	Xi	x-
<b>0%</b>	33.1	33.1	33.2	99.4	3	33.1333	
<b>5%</b>	35.0	35.1	34.9	105.0	3	35.0000	
<b>10%</b>	33.0	32.6	32.8	98.4	3	32.8000	32.7533
<b>15%</b>	32.4	32.2	32.5	97.1	3	32.3667	
<b>20%</b>	30.8	30.3	30.3	91.4	3	30.4667	

### Cálculo de grados de libertad

- Grados de libertad entre grupos (GLE) ----- 5-1 = 4
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) ----- 15-3 = 12
- Grados de libertad total (GLT) ----- 15-1 = 14

**Tabla 91.** Anova de compresión a 7 días de curado del mortero con escoria de zinc.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
<b>Entre grupos</b>	31.7173	4	7.9293	297.35	3.26
<b>Dentro grupos</b>	0.3200	12	0.0267		
<b>Total</b>	32.0373	14			

Como el F EXPERIMENTAL > F TEORICO

**Se acepta  $H_1$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la compresión a 7 días de curado, Trujillo 2018.

**Se rechaza  $H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la compresión a 7 días de curado, Trujillo 2018.

- **Compresión a 28 días de curado, análisis estadístico.**

**Hipótesis**

$H_1$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la compresión a 28 días de curado, Trujillo 2018.

$H_0$ : La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la compresión a 28 días de curado, Trujillo 2018.

Donde

$H_1$ : Hipótesis alternativa

$H_0$ : Hipótesis nula

**SPSS – Shapiro Wilk**

$$\text{Compresión a 28 días} = 0,377 > \alpha = 0,05$$

Conclusión: La variable se comporta normalmente

**Análisis de varianza**

*Tabla 92. Varianza de compresión a 28 días de curado del mortero con escoria de zinc.*

	Compresión a 28 días de curado			Análisis de varianza			
	m1	m2	m3	Sumatoria	n	$X_i$	x-
<b>0%</b>	41.4	41.3	41.7	124.4	3	41.4667	
<b>5%</b>	41.4	41.2	41.0	123.6	3	41.2000	
<b>10%</b>	41.0	40.8	40.4	122.2	3	40.7333	40.7733
<b>15%</b>	42.8	42.5	42.4	127.7	3	42.5667	
<b>20%</b>	37.6	37.9	38.2	113.7	3	37.9000	

**Cálculo de grados de libertad**

- Grados de libertad entre grupos (GLE) -----  $5-1 = 4$
- Grados de libertad dentro de los grupos (GLD) -----  $15-3 = 12$
- Grados de libertad total (GLT) -----  $15-1 = 14$

**Tabla 93.** Anova de compresión a 28 días de curado del mortero con escoria de zinc.

	Suma de cuadrados	G.L.	Cuadrado medio	F (exp)	F teórico
<b>Entre grupos</b>	36.4093	4	9.1023	176.17	3.26
<b>Dentro grupos</b>	0.6200	12	0.0517		
<b>Total</b>	37.0293	14			

Como el F-EXPERIMENTAL > F-TEORICO

**Se acepta  $H_1$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I no aumenta la compresión a 28 días de curado, Trujillo 2018.

**Se rechaza  $H_0$ :** La sustitución de escoria de zinc por cemento portland tipo I aumenta la compresión a 28 días de curado, Trujillo 2018.

V <sub>2</sub> \ V <sub>1</sub>	Grados de libertad del numerador (V <sub>1</sub> )																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	inf.
2	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3
3	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
4	10.73	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53
5	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63
6	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36
7	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67
8	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23
9	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93
10	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71
11	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54
12	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.52	2.49	2.45	2.40
13	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30
14	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21
15	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13
16	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07
17	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.11	2.06	2.01
18	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96
19	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92
20	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88
21	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84
22	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81
23	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78
24	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76
25	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73
26	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71
27	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69
28	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67
29	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65
30	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64
40	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62
60	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51
120	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39
Inf.	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.55	1.43	1.35	1.25
Inf.	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.85	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.22	1.00

Figura 37. Puntos porcentuales de la distribución  $F_{0.05, v_1, v_2}$ .

## ANEXOS

### ANEXO 01: Panel fotográfico

- Procedimiento experimental de caracterización de la escoria de zinc.



*Figura 38. Estufa de secado termostáticamente controlado.*



*Figura 39. Ensayo granulométrico, tamizado de escoria.*



*Figura 40. Densidad de escoria de zinc pulverizada.*



a.



b.

**Figura 41.** Actividad puzolánica; a. Cubos de morteros, b. Estufa de curado de vapor a 38°



a.



b.

**Figura 42.** Fluorescencia rayos x por ensayo perla; a. Escoria fundida, b Máquina perladora.

- Procedimiento experimental en el cemento



a.



b.



c.

**Figura 43.** Densidad; a. Llenado de cemento en frasco chatelier, b. Equipo ultrasonido para evitar burbujas, c. Baño termostático de temperatura constante.



a.



b.

**Figura 44.** Superficie específica; a. Aparato de blaine, b. Filtro de permeabilidad al aire.





a.



b.

**Figura 45.** Fluorescencia rayos x, método por pastilla; a. Pastillas para la fluorescencia rayos X, b. Máquina de fluorescencia rayos X.

- Procedimiento experimental en la pasta



a.



b.



c.

**Figura 46.** Tiempo de Fraguado; a. Elaboración de pasta, b. Pasta en cámara húmeda a 95%, c. Consistencia de pasta.



a



b



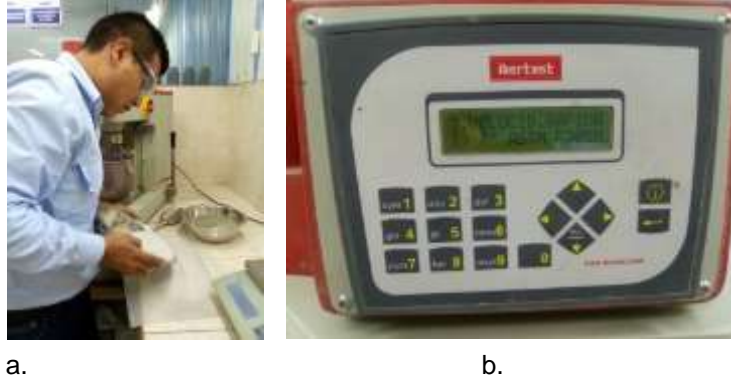
c



d

**Figura 47.** Expansión en autoclave; a. Pasta en moldes de autoclave, b. Calibración con probeta patrón, c. Especímenes en cámara autoclave., d. Medición de expansión.

- Procedimiento experimental de ensayos de mortero.



**Figura 48.** Mezcla para morteros; a. Pesado de materiales, b. Máquina automatizada para morteros



**Figura 49.** Fluidez; a. Mortero en mesa de flujo, b. Proceso de 25 golpes, c. Diámetro del mortero.



*Figura 50. Probetas de mortero patrón.*



*Figura 51. Morteros en cámara humedad de curado*



a



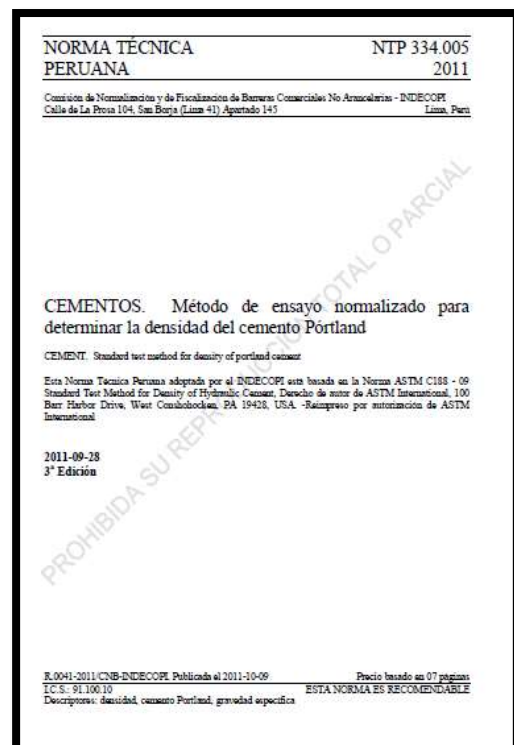
b

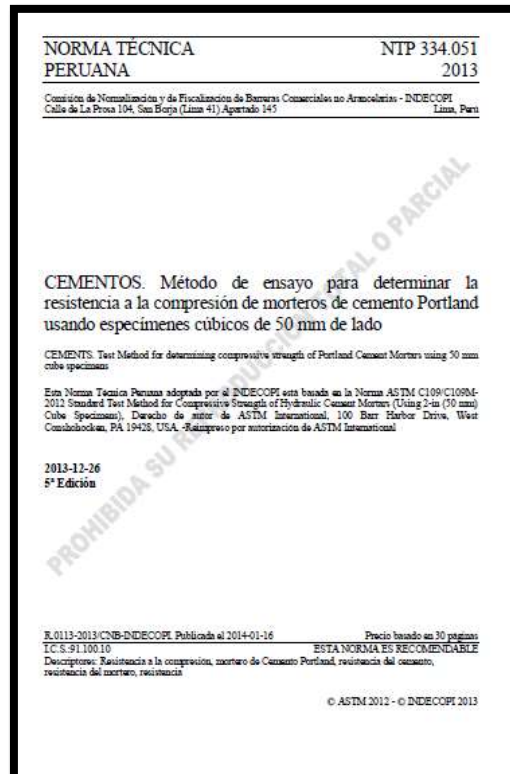
*Figura 52. Proceso de morteros; a. Desmoldado de probetas, b. Curado de probetas.*



**Figura 53.** Ruptura de especímenes de 5cmx5cmx5cm.

## ANEXO 02: Normas técnicas peruana utilizadas



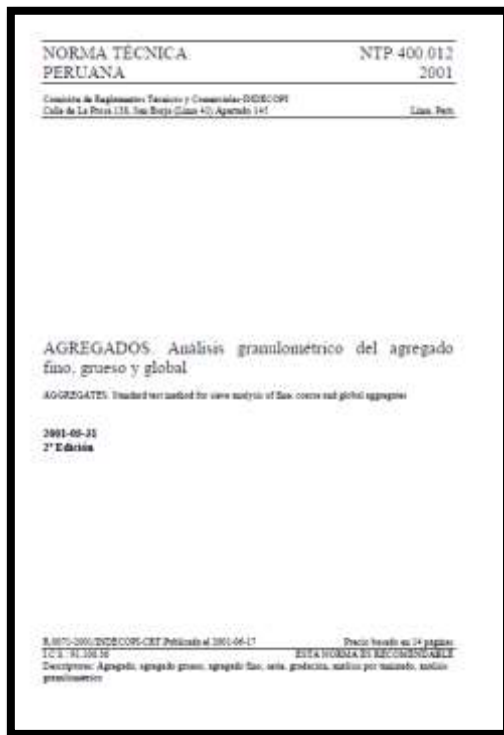




Influencia de la sustitución de escoria de zinc sobre la densidad, finura, fraguado, expansión, fluidez y compresión, por cemento portland tipo I, Trujillo 2018.

<b>NORMA TÉCNICA PERUANA</b>	<b>NTP 334.006 2013</b>
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Bases Comerciales no Asociadas - INDECOPI Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú	
<b>CEMENTOS. Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico utilizando la aguja de Vicat</b>	
Cement. Time of setting of hydraulic cement by Vicat needle	
Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI con base en la Norma ASTM C 191-2008a Standard test method for time of setting of hydraulic cement by vicat needle, Derecho de autor de ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19380, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International	
2013-11-26 3ª Edición	
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL	
R.0113-2013/CNB-INDECOPI. Publicado el 2014-01-16 Precio basado en 18 páginas T.C.S.: 91.100.10 <b>ESTA NORMA ES RECOMENDABLE</b>	
Descriptor: cemento, tiempo de fraguado, cemento hidráulico, aguja Vicat	
© ASTM 2008 - © INDECOPI 2013	

<b>NORMA TÉCNICA PERUANA</b>	<b>NTP 334.090 2013</b>
Comisión de Normalización y de Fiscalización de Bases Comerciales no Asociadas - INDECOPI Calle de La Prosa 104, San Borja (Lima 41) Apartado 145 Lima, Perú	
<b>CEMENTOS. Cementos Portland adicionados. Requisitos</b>	
CEMENT. Standard Specifications for Blended Hydraulic Cements	
Esta Norma Técnica Peruana adoptada por el INDECOPI con base en la ASTM C 1591-09/04-2011 Standard Specifications for Blended Hydraulic Cements, Derecho de autor de ASTM International, 100 Bar Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19380, USA. -Reimpreso por autorización de ASTM International	
2011-01-18 4ª Edición	
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL	
R.0006-2013/CNB-INDECOPI. Publicado el 2013-02-01 Precio basado en 24 páginas T.C.S.: 91.100.10 <b>ESTA NORMA ES RECOMENDABLE</b>	
Descriptor: Cemento adicionado Portland, cemento con ceniza volcánica, cemento hidráulico, cemento Portland con cenizas de alto horno, cemento Portland Pulverizado, cemento Pulverizado, escoria, escoria granulada de alto horno	
© INDECOPI 2013	



**ANEXO 03:** Especificaciones técnicas de arena ottawa.

## Arena Sílica Natural

### Ottawa



**PROPPAN**



**Ventajas y Beneficios**

- Compatible con todos los químicos de fracturación hidráulica
- Alta calidad en factores Krumbeln (redondez y esfericidad) asegurando la porosidad y permeabilidad óptima del fondo del pozo y por lo tanto la conductividad.
- Excelente clasificación de resistencia a la compresión o valor K
- Cumple o excede las especificaciones ISO 13503-2 y API RC 19C para distribución de partículas, redondez y esfericidad, turbidez, solubilidad ácida y resistencia a la compresión.

**Aplicaciones**

- Todas las formaciones areniscas y fracturadas de esquisto que requieren apuntalantes de alta resistencia alfa-cuarzo
- Recomendada para formaciones con presión de cierre hasta de 6.000 psi.

**Distribución granulométrica típica**

16/30		20/40		30/50		40/70		100m	
No. Malla	Retenido	No. Malla	Retenido	No. Malla	Retenido	No. Malla	Retenido	No. Malla	Retenido
US	Individual (%)	US	Individual (%)	US	Individual (%)	US	Individual (%)	US	Individual (%)
12	0.00	16	0	20	0.01	30	0.05	50	3.84
18	3.04	20	1.43	30	0.56	40	1.54	70	13.20
18	22.97	25	6.81	35	15.42	45	15.01	80	14.85
20	36.05	30	23.72	40	33.62	50	32.80	100	22.36
25	27.54	35	42.96	45	38.87	60	36.06	120	20.89
30	8.18	40	19.40	50	9.42	70	11.10	140	12.36
40	1.32	50	5.40	70	3.80	100	3.31	200	11.80
Pan	0.00	Pan	0.28	Pan	0.21	Pan	0.13	Pan	1.07

**Propiedades físicas y químicas**

Especificaciones ISO 13503-2 / API RC 19C

	16/30	20/40	30/50	40/70	100m
Esfericidad (Krumbeln)	0.7 - 0.8	0.7 - 0.8	0.7-0.8	0.7-0.8	0.7 - 0.8
Redondez (Krumbeln)	0.7 - 0.8	0.7-0.8	0.7-0.8	0.6-0.7	0.7 - 0.8
Turbidez (NTU)	≤250	≤250	≤250	≤250	≤250
Densidad aparente (lb/ft <sup>3</sup> )	97.4	98.2	94.9	93.0	92.4
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1.56	1.54	1.52	1.49	1.46
Gravedad específica	2.65	2.65	2.65	2.64	2.64
Solubilidad ácida (%)	≤2%	≤2%	≤2%	≤2%	≤2%
Clasificación de resistencia al crush (K)	4	6	7	7	10

**Resistencia al crush**

Presión de cierre (psi)	Grado	Valor K	4000	5000	6000	7000
Arena blanca	16/30	4	5.30%	-	-	-
Arena blanca	20/40	6	-	1.98%	5.17%	-
Arena blanca	30/50	7	-	-	3.45%	7.45%
Arena blanca	40/70	7	-	-	2.32%	5.67%

**Conductividad (mD-ft) @ 2lb/ft<sup>2</sup>, 150°F**

Presión de cierre (psi)	Grado	2000	4000	6000	8000	10000
Arena blanca	16/30	7536	4180	1983	847	-
Arena blanca	20/40	3745	2757	1508	808	334
Arena blanca	30/50	1884	1371	888	485	248
Arena blanca	40/70	1002	882	599	317	169

**Permeabilidad (Darcy) @ 2lb/ft<sup>2</sup>, 150°F**

Presión de cierre (psi)	Grado	2000	4000	6000	8000	10000
Arena blanca	16/30	426	253	104	62	-
Arena blanca	20/40	201	152	87	41	22
Arena blanca	30/50	100	74	48	28	15
Arena blanca	40/70	62	46	31	20	11

## ANEXO 04: Especificaciones técnicas de cemento tipo I - Pacasmayo



**CEMENTOS PACASMAYO S.A.A.**  
Calle La Colonia Nro. 150 Urb. El Vivero de Montarico Santiago de Surco - Lima  
Carretera Panamericana Norte Km. 806 Pacasmayo - La Libertad  
Teléfono 317 - 8000



G-CC-F-04  
Versión 03

### Cemento Portland Tipo I

Conforme a la NTP 334.009 / ASTM C150  
Pacasmayo, 15 de Agosto del 2017

COMPOSICIÓN QUÍMICA		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
MgO	%	2.3	Máximo 6.0
SO <sub>3</sub>	%	2.8	Máximo 3.0
Pérdida por Ignición	%	3.1	Máximo 3.5
Residuo Insoluble	%	0.66	Máximo 1.5

PROPIEDADES FÍSICAS		CPSAA	Requisito NTP 334.009 / ASTM C150
Contenido de Aire	%	8	Máximo 12
Expansión en Autoclave	%	0.09	Máximo 0.80
Superficie Específica	cm <sup>2</sup> /g	3650	Mínimo 2800
Densidad	g/mL	3.08	NO ESPECÍFICA

#### Resistencia Compresión :

Resistencia Compresión a 3 días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	26.5 (271)	Mínimo 12.0 (Mínimo 122)
Resistencia Compresión a 7 días	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	34.3 (350)	Mínimo 19.0 (Mínimo 194)
Resistencia Compresión a 28 días (*)	MPa (Kg/cm <sup>2</sup> )	39.8 (406)	Mínimo 28.0 (Mínimo 286)

#### Tiempo de Fraguado Vicat :

Fraguado Inicial	min	138	Mínimo 45
Fraguado Final	min	261	Máximo 375

Los resultados arriba mostrados, corresponden al promedio del cemento despachado durante el periodo del 01-07-2017 al 31-07-2017.  
La resistencia a la compresión a 28 días corresponde al mes de Junio 2017.  
(\*) Requisito opcional.

**ANEXO 05:** Ficha técnica de agua destilada

**IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO**

Nombre del Producto: AGUA DESTILADA  
 Fórmula química: H<sub>2</sub>O

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS**

PROPIEDAD	VALOR ESPECIFICADO
pH:	5.4
Conductividad 20 °C	<10 µS/cm.
Nitratos	< 1 mg NO <sub>3</sub> /l
Cloruros	2.5 mg Cl/l
Silice	1.1 mg SiO <sub>2</sub> /l
Calcio	0.02 mg Ca/l
Magnesio	< 0.003 mg Mg/l
Sódio	0.22 mg Na/l
Potasio	< 0.03 mg K/l
Hierro	5 µg Fe/l
Zinc	< 0.5 µg Zn/l
Coniformes totales	0 ufc/100 ml.
Bacterias aerobias a 22°C	3 ufc/ml.
Bacterias aerobias a 37 °C	1 ufc/ml.

**ANEXO 06:** Ficha de observaciones

ESCORIA DE ZINC AL: <u>0%-1</u>		FECHA: <u>08/05/17</u>																			
<b>DENSIDAD</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Norma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Masa (g)</td> <td><u>69.01</u></td> </tr> <tr> <td>Lectura inicial (cm<sup>3</sup>)</td> <td><u>0.90</u></td> </tr> <tr> <td>Lectura Final (cm<sup>3</sup>)</td> <td><u>21.60</u></td> </tr> <tr> <td>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</td> <td><u>3.09</u></td> </tr> </tbody> </table>		Datos	Norma	Masa (g)	<u>69.01</u>	Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.90</u>	Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>21.60</u>	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.09</u>	<b>FINURA</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Ensayo</th> <th>Norma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Blaine (cm<sup>2</sup>/g)</td> <td><u>3550</u></td> </tr> </tbody> </table>		Ensayo	Norma	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>3550</u>				
Datos	Norma																				
Masa (g)	<u>69.01</u>																				
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.90</u>																				
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>21.60</u>																				
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.09</u>																				
Ensayo	Norma																				
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>3550</u>																				
<b>FRAGUADO</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Fraguado vicat</th> <th>Norma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H<sub>2</sub>O para pasta (ml)</td> <td><u>160</u></td> </tr> <tr> <td>Tiempo inicial (min)</td> <td><u>130</u></td> </tr> <tr> <td>Tiempo final (min)</td> <td><u>268</u></td> </tr> </tbody> </table>		Fraguado vicat	Norma	H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>160</u>	Tiempo inicial (min)	<u>130</u>	Tiempo final (min)	<u>268</u>	<b>EXPANSIÓN</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Expansión autoclave</th> <th>Norma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Inicial (mm)</td> <td><u>0.0879</u></td> </tr> <tr> <td>Final (mm)</td> <td><u>0.0911</u></td> </tr> <tr> <td>Expansión (%)</td> <td><u>0.036</u></td> </tr> <tr> <td>Temperatura H<sub>2</sub>O</td> <td><u>23.9</u> °C</td> </tr> </tbody> </table>		Expansión autoclave	Norma	Inicial (mm)	<u>0.0879</u>	Final (mm)	<u>0.0911</u>	Expansión (%)	<u>0.036</u>	Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.9</u> °C
Fraguado vicat	Norma																				
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>160</u>																				
Tiempo inicial (min)	<u>130</u>																				
Tiempo final (min)	<u>268</u>																				
Expansión autoclave	Norma																				
Inicial (mm)	<u>0.0879</u>																				
Final (mm)	<u>0.0911</u>																				
Expansión (%)	<u>0.036</u>																				
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.9</u> °C																				
<b>FLUIDEZ</b> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Norma</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>H<sub>2</sub>O para mortero (ml)</td> <td><u>359</u></td> </tr> <tr> <td>Longitud 1 (mm)</td> <td><u>31.2</u></td> </tr> <tr> <td>Longitud 2 (mm)</td> <td><u>31.9</u></td> </tr> <tr> <td>Longitud 3 (mm)</td> <td><u>31.5</u></td> </tr> <tr> <td>Longitud 4 (mm)</td> <td><u>31.7</u></td> </tr> <tr> <td>Fluidez (%)</td> <td><u>126.3</u></td> </tr> </tbody> </table>		Datos	Norma	H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>359</u>	Longitud 1 (mm)	<u>31.2</u>	Longitud 2 (mm)	<u>31.9</u>	Longitud 3 (mm)	<u>31.5</u>	Longitud 4 (mm)	<u>31.7</u>	Fluidez (%)	<u>126.3</u>						
Datos	Norma																				
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>359</u>																				
Longitud 1 (mm)	<u>31.2</u>																				
Longitud 2 (mm)	<u>31.9</u>																				
Longitud 3 (mm)	<u>31.5</u>																				
Longitud 4 (mm)	<u>31.7</u>																				
Fluidez (%)	<u>126.3</u>																				
<b>COMPRESIÓN</b> Norma : NTP 334.051																					
<u>09/05</u>	1 día ( ) <u>11/05</u>	3 días ( )	7 días ( )	28 días ( )																	
	<u>15.5</u>	<u>27.8</u>																			
	<u>15.9</u>	<u>27.5</u>																			
	<u>16.1</u>	<u>27.1</u>																			
Promedio (MPa)	<u>15.8</u>	<u>27.5</u>																			
Observaciones :		Hora preparación <u>18:04</u>																			
.....		1 día	<u>18.11</u>																		
.....		3 días	<u>18.20</u>																		
.....		7 días																			
.....		28 días																			



ESCORIA DE ZINC AL: 0% - 11      FECHA: 08/05/17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>64.00</u>	NTP 334.005
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>1.00</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>21.80</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.08</u>	

**FINURA**

Ensayo	<u>2</u>	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>3567</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>160</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>131</u>	NTP 334.006
Tiempo final (min)	<u>267</u>	

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0880</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0911</u>	
Expansión (%)	<u>0.0310</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.8</u> °C	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>359</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>30.8</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>31.2</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>30.9</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>31.2</u>	
Fluidez (%)	<u>124.1</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

	1 día ( )	3 días ( )	7 días ( )	28 días ( )
			<u>15/05</u>	<u>5/06</u>
			<u>33.1</u>	<u>41.4</u>
			<u>33.1</u>	<u>41.3</u>
			<u>33.2</u>	<u>41.7</u>
Promedio (MPa)			<u>33.2</u>	<u>41.5</u>

Observaciones :

	Hora preparación <u>18:22</u>
1 día	<u>1</u>
3 días	<u>1</u>
7 días	<u>18:25</u>
28 días	<u>18:24</u>

ESCORIA DE ZINC AL: 0%-III FECHA: 08/05/17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>64.00</u>	NTP 334.005
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>1.00</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>26.70</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.09</u>	

**FINURA**

Ensayo	<u>3</u>	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>3616</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>160</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>133</u>	NTP 334.008
Tiempo final (min)	<u>270</u>	



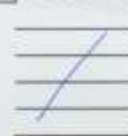
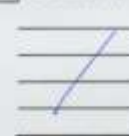
**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0881</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0913</u>	
Expansión (%)	<u>0.032</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.9</u> °C	

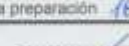
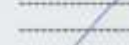


**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>359</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>31.4</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>31.2</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>31.2</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>30.9</u>	
Fluidez (%)	<u>124.7</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

	1 día ( )	3 días ( )	7 días ( )	28 días ( )
Promedio (MPa)				
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Observaciones :

Hora preparación <u>18:50</u>	
1 día	
3 días	
7 días	
28 días	



ESCORIA DE ZINC AL: 5 1/2 - 1 FECHA: 09/05/19

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.06</u>	NTP 334.005
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>1.00</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.60</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.06</u>	

**FINURA**

Ensayo	1	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>3674</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>139</u>	NTP 334.006
Tiempo final (min)	<u>275</u>	

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0591</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0628</u>	
Expansión (%)	<u>0.037</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.6 °C</u>	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>29.0</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>28.5</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>28.7</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>28.2</u>	
Fluidez (%)	<u>114.4</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

	10/05	1 dia ( )	12/05	3 dias ( )		7 dias ( )		28 dias ( )
		<u>17.0</u>		<u>29.1</u>				
		<u>16.7</u>		<u>29.1</u>				
		<u>16.3</u>		<u>29.3</u>				
Promedio (MPa)		<u>16.7</u>		<u>29.2</u>				

Observaciones :

	Hora preparación <u>16:16</u>
1 día	<u>16:09</u>
3 días	<u>16:21</u>
7 días	
28 días	

ESCORIA DE ZINC AL: 5% - 11 FECHA: 09/05/17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.05</u>	NTP 334.005
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>1.00</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.65</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.06</u>	

**FINURA**

Ensayo	<u>2</u>	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>3674</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>140</u>	NTP 334.008
Tiempo final (min)	<u>276</u>	

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0583</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0626</u>	
Expansión (%)	<u>0.043</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.4 °C</u>	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>29.0</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>28.7</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>29.2</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>28.1</u>	
Fluidez (%)	<u>195</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

	1 día ( )	3 días ( )	<u>16/05</u>	7 días ( )	<u>06/06</u>	28 días ( )
	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>35.0</u>	<u>35.1</u>	<u>34.9</u>	<u>41.4</u>
	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>35.1</u>	<u>35.1</u>	<u>34.9</u>	<u>41.2</u>
	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>35.0</u>	<u>35.1</u>	<u>34.9</u>	<u>41.0</u>
Promedio (MPa)	<u>/</u>	<u>/</u>	<u>35.0</u>	<u>35.0</u>	<u>34.9</u>	<u>41.2</u>

Observaciones :

	Hora preparación: <u>16:34</u>
1 día	<u>/</u>
3 días	<u>/</u>
7 días	<u>16.38</u>
28 días	<u>16.38</u>

ESCORIA DE ZINC AL: 5% - III FECHA: 09/05/17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.00</u>	NTP 334.005
Lectura Inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>1.00</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.60</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.06</u>	

**FINURA**

Ensayo	3	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>3691</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>136</u>	NTP 334.006
Tiempo final (min)	<u>279</u>	

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0587</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0627</u>	
Expansión (%)	<u>0.040</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.4 °C</u>	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>28.4</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>28.3</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>28.9</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>29.0</u>	
Fluidez (%)	<u>114.6</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.081

1 día ( )   
  3 días ( )   
  7 días ( )   
  28 días ( )

Promedio (MPa)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
----------------	----------------------	----------------------	----------------------	----------------------

Observaciones :

Hora preparación 16:53

1 día	<input type="text"/>
3 días	<input type="text"/>
7 días	<input type="text"/>
28 días	<input type="text"/>

ESCORIA DE ZINC AL: 10%-1 FECHA: 11-05-17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.04</u>	NTP 334.005
Lectura Inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>1.00</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.80</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>2.03</u>	

**FINURA**

Ensayo	1	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4038</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>440</u>	NTP 334.006
Tiempo final (min)	<u>279</u>	

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0618</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0654</u>	
Expansión (%)	<u>0.037</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>24.3</u> °C	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>27.8</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>28.1</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>28.0</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>27.9</u>	
Fluidez (%)	<u>111.8</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

	<u>12-05</u>	1 día ( ) <u>14-05</u>	3 días ( )	7 días ( )	28 días ( )
		<u>15.0</u>	<u>26.22</u>		
		<u>15.2</u>	<u>26.22</u>		
		<u>14.6</u>	<u>26.04</u>		
Promedio (MPa)	<u>14.9</u>	<u>26.2</u>			

Observaciones :

Hora preparación <u>14:41</u>	
1 día	<u>14:52</u>
3 días	<u>14:50</u>
7 días	
28 días	

ESCORIA DE ZINC AL: 10% - 11 -----

FECHA : 11-05-17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.03</u>	NTP 334.005
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.85</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.70</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.02</u>	

**FINURA**

Ensayo	<u>2</u>	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4056</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>142</u>	NTP 334.008
Tiempo final (min)	<u>280</u>	

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0642</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0649</u>	
Expansión (%)	<u>0.037</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>24.3</u> °C	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>27.8</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>27.4</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>27.5</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>27.9</u>	
Fluidez (%)	<u>110.6</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

	1 día ( )	3 días ( )	<u>18-05</u>	7 días ( )	<u>08-06</u>	28 días ( )
				<u>33.0</u>		<u>41.0</u>
				<u>32.6</u>		<u>40.8</u>
				<u>32.8</u>		<u>40.4</u>
Promedio (MPa)				<u>32.8</u>		<u>40.7</u>

Observaciones :

Hora preparación 15:00

1 día	
3 días	<u>15.05</u>
7 días	<u>14.53</u>
28 días	

ESCORIA DE ZINC AL: 10% - III FECHA: 11-05-17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.02</u>	NTP 334.005
Lectura Inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.95</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.75</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.03</u>	

**FINURA**

Ensayo	<u>3</u>	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4074</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>141</u>	NTP 334.006
Tiempo final (min)	<u>281</u>	

**EXPANSIÓN**

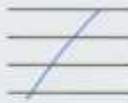
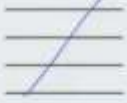
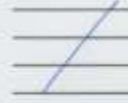
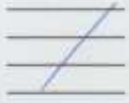
Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0606</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0645</u>	
Expansión (%)	<u>0.040</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>24.3</u> °C	

**FLUIDEZ**





Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>35.1</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>27.2</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>27.3</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>27.8</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>27.8</u>	
Fluidez (%)	<u>110.1</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

1 día ( )   
  3 días ( )   
  7 días ( )   
  28 días ( )

				
Promedio (MPa)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Observaciones :

Observaciones :		Hora preparación <u>15:18</u>
1 día		
3 días		
7 días		
28 días		



ESCORIA DE ZINC AL: 15% - 1 FECHA: 12-05-17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.00</u>	NTP 334.005
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.80</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.75</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>3.01</u>	

**FINURA**

Ensayo	Norma
<u>1</u>	NTP 334.002
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4382</u>

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>142</u>	NTP 334.006
Tiempo final (min)	<u>280</u>	

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0572</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0610</u>	
Expansión (%)	<u>0.036</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.5 °C</u>	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>27.3</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>27.0</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>27.0</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>26.9</u>	
Fluidez (%)	<u>106.2</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

	1 día ( )	3 días ( )	7 días ( )	28 días ( )
	<u>13-05</u>	<u>15-05</u>		
	<u>14.8</u>	<u>24.8</u>		
	<u>14.4</u>	<u>24.9</u>		
	<u>15.0</u>	<u>25.3</u>		
Promedio (MPa)	<u>14.7</u>	<u>25.0</u>		

Observaciones :

	Hora preparación <u>18:15</u>
1 día	<u>18:16</u>
3 días	<u>18:10</u>
7 días	
28 días	

ESCORIA DE ZINC AL: <u>15% - 11</u>		FECHA: <u>12-05-17</u>	
<b>DENSIDAD</b>		<b>FINURA</b>	
Datos	Norma	Ensayo	Norma
Masa (g)	<u>60.00</u>	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4382</u> NTP 334.002
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.85</u>		
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.90</u>		
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>2.99</u>		
	NTP 334.005		
<b>FRAGUADO</b>		<b>EXPANSIÓN</b>	
Fraguado vicat	Norma	Expansión autoclave	Norma
H <sub>2</sub> O para peeta (ml)	<u>161</u> NTP 334.074	Inicial (mm)	<u>0.0565</u>
Tiempo inicial (min)	<u>147</u>	Final (mm)	<u>0.0600</u>
Tiempo final (min)	<u>283</u>	Expansión (%)	<u>0.035</u>
	NTP 334.006	Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.5</u> °C
			NTP 334.004
<b>FLUIDEZ</b>			
Datos	Norma		
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>		
Longitud 1 (mm)	<u>27.4</u>		
Longitud 2 (mm)	<u>27.7</u>		
Longitud 3 (mm)	<u>27.5</u>		
Longitud 4 (mm)	<u>27.2</u>		
Fluidez (%)	<u>109.8</u>		
	NTP 334.057		
<b>COMPRESIÓN</b>			
Norma : NTP 334.051			
	1 día ( )	3 días ( )	<u>19-05</u> 7 días ( ) <u>9-06</u> 28 días ( )
			<u>32.4</u> <u>42.8</u>
			<u>32.2</u> <u>42.5</u>
			<u>32.5</u> <u>42.4</u>
Promedio (MPa)			<u>32.4</u> <u>42.6</u>
Observaciones :			Hora preparación <u>16:34</u>
-----			1 día <u>1</u>
-----			3 días <u>1</u>
-----			7 días <u>16:40</u>
-----			28 días <u>16:30</u>



ESCORIA DE ZINC AL: 15% - III FECHA: 12-05-17

**DENSIDAD**

Datos	Norma
Masa (g)	60.01
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	0.80
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	20.80
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	3.00

NTP 334.005

**FINURA**

Ensayo	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	4291

NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat	Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	161
Tiempo inicial (min)	144
Tiempo final (min)	279

NTP 334.074  
NTP 334.006

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave	Norma
Inicial (mm)	0.0569
Final (mm)	0.0606
Expansión (%)	0.035
Temperatura H <sub>2</sub> O	23.5 °C

NTP 334.004

**FLUIDEZ**

Datos	Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	351
Longitud 1 (mm)	27.5
Longitud 2 (mm)	27.3
Longitud 3 (mm)	27.7
Longitud 4 (mm)	27.7
Fluidez (%)	110.2

NTP 334.057

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

1 día ( ) 3 días ( ) 7 días ( ) 28 días ( )

Promedio (MPa)

Observaciones :

Hora preparación 18:50

1 día  
3 días  
7 días  
28 días

ESCORIA DE ZINC AL: <u>20% - 1</u>		FECHA: <u>15-05-17</u>																		
<b>DENSIDAD</b>		<b>FINURA</b>																		
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>Datos</th><th>Norma</th></tr></thead><tbody><tr><td>Masa (g)</td><td><u>60.00</u></td></tr><tr><td>Lectura inicial (cm<sup>3</sup>)</td><td><u>0.50</u></td></tr><tr><td>Lectura Final (cm<sup>3</sup>)</td><td><u>20.80</u></td></tr><tr><td>Densidad (g/cm<sup>3</sup>)</td><td><u>2.96</u></td></tr></tbody></table>	Datos	Norma	Masa (g)	<u>60.00</u>	Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.50</u>	Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.80</u>	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>2.96</u>	<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>Ensayo</th><th>1</th><th>Norma</th></tr></thead><tbody><tr><td>Blaine (cm<sup>2</sup>/g)</td><td><u>4630</u></td><td>NTP 334.002</td></tr></tbody></table>		Ensayo	1	Norma	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4630</u>	NTP 334.002		
Datos	Norma																			
Masa (g)	<u>60.00</u>																			
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.50</u>																			
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.80</u>																			
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>2.96</u>																			
Ensayo	1	Norma																		
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4630</u>	NTP 334.002																		
<b>FRAGUADO</b>		<b>EXPANSIÓN</b>																		
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>Fraguado vicat</th><th>Norma</th></tr></thead><tbody><tr><td>H<sub>2</sub>O para pasta (ml)</td><td><u>161</u></td></tr><tr><td>Tiempo inicial (min)</td><td><u>150</u></td></tr><tr><td>Tiempo final (min)</td><td><u>282</u></td></tr></tbody></table>	Fraguado vicat	Norma	H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	Tiempo inicial (min)	<u>150</u>	Tiempo final (min)	<u>282</u>	<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>Expansión autoclave</th><th>Norma</th></tr></thead><tbody><tr><td>Inicial (mm)</td><td><u>0.0639</u></td></tr><tr><td>Final (mm)</td><td><u>0.0672</u></td></tr><tr><td>Expansión (%)</td><td><u>0.033</u></td></tr><tr><td>Temperatura H<sub>2</sub>O</td><td><u>23.6</u> °C</td></tr></tbody></table>		Expansión autoclave	Norma	Inicial (mm)	<u>0.0639</u>	Final (mm)	<u>0.0672</u>	Expansión (%)	<u>0.033</u>	Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.6</u> °C
Fraguado vicat	Norma																			
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>																			
Tiempo inicial (min)	<u>150</u>																			
Tiempo final (min)	<u>282</u>																			
Expansión autoclave	Norma																			
Inicial (mm)	<u>0.0639</u>																			
Final (mm)	<u>0.0672</u>																			
Expansión (%)	<u>0.033</u>																			
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.6</u> °C																			
<b>FLUIDEZ</b>																				
<table border="1" style="width: 100%;"><thead><tr><th>Datos</th><th>Norma</th></tr></thead><tbody><tr><td>H<sub>2</sub>O para mortero (ml)</td><td><u>351</u></td></tr><tr><td>Longitud 1 (mm)</td><td><u>26.8</u></td></tr><tr><td>Longitud 2 (mm)</td><td><u>27.2</u></td></tr><tr><td>Longitud 3 (mm)</td><td><u>27.1</u></td></tr><tr><td>Longitud 4 (mm)</td><td><u>26.7</u></td></tr><tr><td>Fluidez (%)</td><td><u>107.8</u></td></tr></tbody></table>	Datos	Norma	H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	Longitud 1 (mm)	<u>26.8</u>	Longitud 2 (mm)	<u>27.2</u>	Longitud 3 (mm)	<u>27.1</u>	Longitud 4 (mm)	<u>26.7</u>	Fluidez (%)	<u>107.8</u>						
Datos	Norma																			
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>																			
Longitud 1 (mm)	<u>26.8</u>																			
Longitud 2 (mm)	<u>27.2</u>																			
Longitud 3 (mm)	<u>27.1</u>																			
Longitud 4 (mm)	<u>26.7</u>																			
Fluidez (%)	<u>107.8</u>																			
<b>COMPRESIÓN</b> Norma : NTP 334.051																				
<u>16-05</u>	1 día ( ) <u>18-05</u>	3 días ( )	7 días ( )																	
	<u>13.2</u>	<u>24.0</u>																		
	<u>13.5</u>	<u>23.8</u>																		
	<u>13.0</u>	<u>24.2</u>																		
Promedio (MPa)	<u>13.2</u>	<u>24.0</u>																		
Observaciones :		Hora preparación <u>19.05</u>																		
-----		1 día <u>19.06</u>																		
-----		3 días <u>19.02</u>																		
-----		7 días																		
-----		28 días																		

ESCORIA DE ZINC AL: 20% - 11 FECHA: 15-05-19

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.00</u>	NTP 334.005
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.60</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.80</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>2.97</u>	

**FINURA**

Ensayo	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4612</u> NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>155</u>	NTP 334.008
Tiempo final (min)	<u>284</u>	

**EXPANSIÓN**

Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0646</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0677</u>	
Expansión (%)	<u>0.031</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.6</u> °C	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>26.5</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>26.5</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>27.0</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>27.2</u>	
Fluidez (%)	<u>107.2</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

	1 día ( )	3 días ( )	7 días ( )	28 días ( )
		<u>22-05</u>	<u>12-06</u>	
			<u>30.8</u>	<u>37.6</u>
			<u>30.3</u>	<u>37.9</u>
			<u>30.3</u>	<u>36.2</u>
Promedio (MPa)			<u>30.5</u>	<u>37.9</u>

Observaciones :

	Hora preparación <u>19:25</u>
1 día	<u>/</u>
3 días	<u>/</u>
7 días	<u>19.28</u>
28 días	<u>19.21</u>

ESCORIA DE ZINC AL: 20% - III      FECHA: 15-05-17

**DENSIDAD**

Datos		Norma
Masa (g)	<u>60.02</u>	NTP 334.005
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )	<u>0.50</u>	
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )	<u>20.90</u>	
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	<u>2.47</u>	

**FINURA**

Ensayo	3	Norma
Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	<u>4219</u>	NTP 334.002

**FRAGUADO**

Fraguado vicat		Norma
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	<u>161</u>	NTP 334.074
Tiempo inicial (min)	<u>153</u>	NTP 334.006
Tiempo final (min)	<u>586</u>	

**EXPANSIÓN**

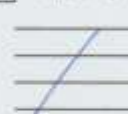


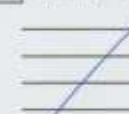
Expansión autoclave		Norma
Inicial (mm)	<u>0.0634</u>	NTP 334.004
Final (mm)	<u>0.0668</u>	
Expansión (%)	<u>0.934</u>	
Temperatura H <sub>2</sub> O	<u>23.7</u> °C	

**FLUIDEZ**

Datos		Norma
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	<u>351</u>	NTP 334.057
Longitud 1 (mm)	<u>26.2</u>	
Longitud 2 (mm)	<u>26.8</u>	
Longitud 3 (mm)	<u>26.5</u>	
Longitud 4 (mm)	<u>26.9</u>	
Fluidez (%)	<u>106.4</u>	

**COMPRESIÓN**  
Norma : NTP 334.051

1 día ( )     3 días ( )     7 días ( )     28 días ( )

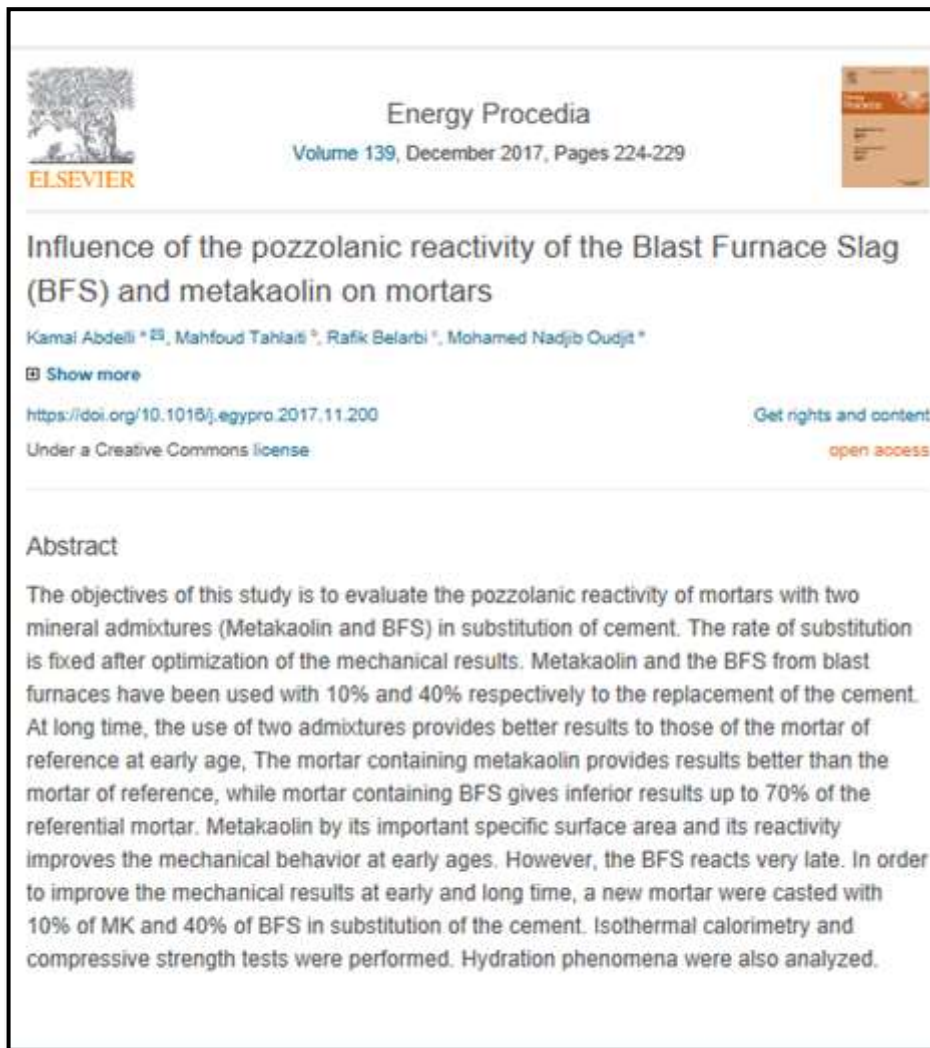





Promedio (MPa)               


Observaciones :

Hora preparación 19:51  
 1 día \_\_\_\_\_  
 3 días \_\_\_\_\_  
 7 días \_\_\_\_\_  
 28 días \_\_\_\_\_

## ANEXO 07: Investigaciones de referencia



The image shows a screenshot of a research paper abstract from the journal Energy Procedia. The paper is titled "Influence of the pozzolanic reactivity of the Blast Furnace Slag (BFS) and metakaolin on mortars" and is authored by Kamal Abdelli, Mahfoud Tahlaoui, Rafik Belarbi, and Mohamed Nadjib Oudjt. The abstract discusses the objectives of the study, which is to evaluate the pozzolanic reactivity of mortars with two mineral admixtures (Metakaolin and BFS) in substitution of cement. It details the optimization of mechanical results and the use of BFS and metakaolin at 10% and 40% respectively. The abstract concludes that metakaolin improves mechanical behavior at early ages, while BFS reacts very late. A new mortar was casted with 10% of MK and 40% of BFS in substitution of the cement. Isothermal calorimetry and compressive strength tests were performed. Hydration phenomena were also analyzed.

 **Energy Procedia**  
Volume 139, December 2017, Pages 224-229

### Influence of the pozzolanic reactivity of the Blast Furnace Slag (BFS) and metakaolin on mortars

Kamal Abdelli <sup>\*</sup>, Mahfoud Tahlaoui <sup>\*</sup>, Rafik Belarbi <sup>\*</sup>, Mohamed Nadjib Oudjt <sup>\*</sup>

[Show more](#)

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.11.200> [Get rights and content](#)

Under a Creative Commons license [open access](#)

#### Abstract

The objectives of this study is to evaluate the pozzolanic reactivity of mortars with two mineral admixtures (Metakaolin and BFS) in substitution of cement. The rate of substitution is fixed after optimization of the mechanical results. Metakaolin and the BFS from blast furnaces have been used with 10% and 40% respectively to the replacement of the cement. At long time, the use of two admixtures provides better results to those of the mortar of reference at early age, The mortar containing metakaolin provides results better than the mortar of reference, while mortar containing BFS gives inferior results up to 70% of the referential mortar. Metakaolin by its important specific surface area and its reactivity improves the mechanical behavior at early ages. However, the BFS reacts very late. In order to improve the mechanical results at early and long time, a new mortar were casted with 10% of MK and 40% of BFS in substitution of the cement. Isothermal calorimetry and compressive strength tests were performed. Hydration phenomena were also analyzed.

## EVALUACIÓN DE LA ACTIVIDAD PUZOLÁNICA DE UN RESIDUO DE LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO

## EVALUATION OF THE POZZOLANIC ACTIVITY OF FLUID CATALYTIC CRACKING RESIDUE

JANNETH TORRES AGREDO

*Grupo de Investigación Análisis, diseño y materiales, Ph.D, Universidad Nacional de Colombia, jtorresa@unal.edu.co*

EDWIN ARLEY BAQUERO

*Estudiante de Química, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, ebaquero@unal.edu.co*

ALEX RICARDO SILVA

*Estudiante de Química, Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá, arsilva@unal.edu.co*

Recibido para revisar junio 17 de 2008, aceptado septiembre 30 de 2008, versión final octubre 11 de 2008


**RESUMEN:** En el presente artículo se presentan los resultados de la evaluación de la actividad puzolánica del catalizador gastado de craqueo catalítico (FCC), procedente de la industria del petróleo; con el fin de explorar la posibilidad de utilizar este desecho industrial como adición al cemento para la producción de concretos y morteros. La actividad puzolánica se determinó a partir de la resistencia a la compresión, según la norma ASTM C311 y C618. Igualmente se realizó el estudio aplicando las técnicas de Termogravimetría (TG) y Calorimetría Diferencial (DSC). Los resultados mostraron que este desecho puede ser utilizado como adición al cemento en morteros y concretos, sumándole la importancia de la utilización de un residuo industrial.

**PALABRAS CLAVE:** catalizador gastado de craqueo catalítico, actividad puzolánica, morteros, calorimetría diferencial, termogravimetría.

**ABSTRACT:** In the present article results of the evaluation of the pozzolanic activity of fluid catalytic cracking residue (FCC) proceeding from the petrol industry, are presented. Possibility of FCC as an addition to cement for the production concrete and mortars was studied. The pozzolanic activity of the FCC was evaluated according to ASTM C311 and C618, thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) techniques. The results showed that this waste can be used as addition to the cement in mortars and concrete, adding to its importance of the utilization.

**KEY WORDS:** Fluid catalytic cracking residue, pozzolanic activity, mortars, differential scanning calorimetry, thermogravimetric analysis.





artículos | búsqueda de artículos

sumario anterior próximo autor materia búsqueda home alfab

**Concreto y cemento. Investigación y desarrollo**  
versión impresa ISSN 2007-3011

Concr. cem. investig. desarro vol.5 no.2 México ene./jun. 2014

## Efecto de puzolanas naturales sobre la reología de pastas de cemento portland

Viviana F. Rahhal<sup>1</sup>, César Pedrajas<sup>2</sup>, Fabián Irassar<sup>1</sup> y Rafael Talero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil Facultad de Ingeniería UNCPBA. Av. del Valle 5737 (B7400JWI) Olavarría - Argentina. E-mail: [lem@fio.unicen.edu.ar](mailto:lem@fio.unicen.edu.ar)

<sup>2</sup> Instituto Eduardo Torroja. CSIC Serrano Galvache 6 (28033) Madrid - España. E-mail: [cpedrajas@ietcc.csic.es](mailto:cpedrajas@ietcc.csic.es), [rtalero@ietcc.csic.es](mailto:rtalero@ietcc.csic.es)

**Resumen**

En este trabajo se analizó la influencia de tres puzolanas naturales españolas de distinto carácter químico, incorporadas a dos cementos portland de composición mineralógica diferente (alto C<sub>3</sub>A y bajo C<sub>3</sub>S y viceversa), con distintos porcentajes de reemplazo. Todas las determinaciones se realizaron a una temperatura de 25°C y en el momento correspondiente al periodo latente de su hidratación. Los resultados mostraron una mayor tensión de corte en cemento de bajo C<sub>3</sub>A y alto C<sub>3</sub>S; sin embargo una mayor recuperación de dicha tensión en el cemento de alto C<sub>3</sub>A y bajo C<sub>3</sub>S. En las mezclas, la tensión de corte aumentó con el aumento de la proporción de alúmina reactiva, para un determinado porcentaje de reemplazo, con ambos cementos. En el momento de detención del rotor, el aumento de la tensión fue mayor para las mezclas con el cemento de alto C<sub>3</sub>A. Con el aumento del porcentaje de reemplazo, la tensión de corte aumentó con las puzolanas A y C; mientras que, con la puzolana O disminuyó debido posiblemente a su baja adsorción.

**Palabras clave:** reología, pastas de cemento, puzolanas naturales.

**Servicios Personalizados**

Revista

Artículo

- SoiELO Analytics
- Español (pdf)
- Artículo en XML
- Referencias del artículo
- Como citar este artículo
- SoiELO Analytics
- Traducción automática
- Enviar artículo por email

Indicadores

Links relacionados

Compartir

- 
- Otros

Permalink



artículos | búsqueda de artículos

inicio anterior próximo autor materia búsqueda home alfabet

## Concreto y cemento. Investigación y desarrollo

versión impresa ISSN 2007-3011

Concr. cem. investig. desarro vol.4 no.2 México ene.-jun. 2013

### Cementos mezclas: influencia del tamaño de las partículas de escoria

Claudia C. Castellano<sup>1</sup>, Viviana L. Bonavetti<sup>1</sup> y Edgardo F. Irassar<sup>1</sup>

*(1) Profesores Investigadores, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina. E-mail: [ccastellano@fio.unicen.edu.ar](mailto:ccastellano@fio.unicen.edu.ar), [vbonavet@fio.unicen.edu.ar](mailto:vbonavet@fio.unicen.edu.ar), [firassar@fio.unicen.edu.ar](mailto:firassar@fio.unicen.edu.ar)*

Artículo recibido el 6 de marzo de 2013  
Aprobado para su publicación el 16 de abril de 2013

#### Resumen

En este trabajo se estudia la influencia del tamaño de partículas de escoria (finura Blaine 460, 680 y 900 m<sup>2</sup>/kg) sobre la resistencia mecánica y el contenido de agua no evaporable de pastas de cemento con contenido variable de adición (20 a 80 %). Estos parámetros se correlacionan con los tiempos necesarios para alcanzar el 50 % de la reacción.

Los resultados obtenidos muestran que, a primeras edades, cuando la finura del clinker se mantiene constante, al aumentar la cantidad de partículas menores a 10 µm en la escoria, se incrementa la resistencia y el contenido de agua no evaporable y disminuye el tiempo para alcanzar el 50 % de la reacción. Así, se pueden obtener adecuadas resistencias iniciales en cementos con medio y elevado contenido de escoria a partir de la activación física de la adición.

A edades más avanzadas esta activación presenta un menor impacto sobre el comportamiento mecánico, pues puede alcanzarse una resistencia similar o mayor a la obtenida por la pasta de cemento sin adición con elevados contenidos de escoria de finura convencional (350 a 450 m<sup>2</sup>/kg).

#### Servicios Personalizados

Revista

Artículo

- SoELO Analytics
- Español (pdf)
- Artículo en XML
- Referencias del artículo
- Como citar este artículo
- SoELO Analytics
- Traducción automática
- Enviar artículo por email

Indicadores

Links relacionados

Compartir

- Google+ Twitter Facebook LinkedIn
- Otros

Permalink



## DYNA

DYNA, Volumen 75, Número 156, p. 177-184, 2008. ISSN electrónico 2346-2183. ISSN impreso 0012-7353.

### DESEMPEÑO DEL CEMENTO PÓRTLAND ADICIONADO CON CALIZAS DE DIFERENTES GRADOS DE PUREZA

#### BEHAVIOR OF PORTLAND CEMENT BLENDED WITH LIMESTONES OF DIFFERENT PURITY DEGREES

JORGE IVÁN TOBÓN

*Profesor Asociado, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, [jitobon@unal.edu.co](mailto:jitobon@unal.edu.co)*

REBECA KAZES GÓMEZ

*Ingeniera Geóloga, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, [rkazes@unal.edu.co](mailto:rkazes@unal.edu.co)*

Recibido Enero 20 de 2008, aceptado Mayo 07 de 2008, versión final Mayo 14 de 2008

**RESUMEN:** En este artículo se determina la incidencia de adicionar calizas de diferentes calidades al cemento Pórtland tipo III, en contraste a la caliza de alta calidad que la empresa Cementos El Cairo S. A., está incorporando a su cemento. Se sustituyó en el cemento 15, 20 y 25% de calizas con títulos (% de  $\text{CaCO}_3$ ) < 70%, 70 - 80% y > 80%. Se evaluó la resistencia mecánica de morteros curados bajo condiciones estándar a 3, 7 y 28 días. En pastas se determinó la evolución mineralógica durante el proceso de hidratación usando Difracción de Rayos-X y Análisis Termogravimétrico. Se encontró que las calizas < 70% de  $\text{CaCO}_3$ , son una muy buena opción de adición mineral para el cemento Pórtland aún en cantidades superiores al 20% porque tienen efectos menos negativos sobre las resistencias mecánicas en comparación con las calizas de alta pureza y prácticamente no modifican los tiempos de fraguado, la expansión y la demanda de agua de los morteros adicionados con ellas. Aunque los morteros sustituidos con 20% de calizas rebajadas presentaron un  $\text{IP} > 75\%$  (ASTM C311), estas calizas no presentan actividad puzolánica porque no producen las modificaciones mineralógicas que se esperan de una puzolana.

**PALABRAS CLAVE:** Cemento adicionado, adiciones minerales, calizas, resistencia mecánicas y puzolanas.

**ANEXO 08:** Guía de observación

**GUÍA DE OBSERVACIÓN**

ESCORIA DE ZINC AL: _____		FECHA : <input style="width: 150px; height: 20px;" type="text"/>	
<b>DENSIDAD</b>		<b>FINURA</b>	
<b>Datos</b>	<b>Norma</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Norma</b>
Masa (g)	NTP 334.005	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	NTP 334.002
Lectura inicial (cm <sup>3</sup> )			
Lectura Final (cm <sup>3</sup> )			
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )			
<b>FRAGUADO</b>		<b>EXPANSIÓN</b>	
<b>Fraguado vicat</b>	<b>Norma</b>	<b>Expansión autoclave</b>	<b>Norma</b>
H <sub>2</sub> O para pasta (ml)	NTP 334.074	Inicial (mm)	NTP 334.004
Tiempo inicial (min)	NTP 334.006	Final (mm)	
Tiempo final (min)		Expansión (%)	
		Temperatura H <sub>2</sub> O °C	
<b>FLUIDEZ</b>			
<b>Datos</b>	<b>Norma</b>		
H <sub>2</sub> O para mortero (ml)	NTP 334.057		
Longitud 1 (mm)			
Longitud 2 (mm)			
Longitud 3 (mm)			
Longitud 4 (mm)			
Fluidez (%)			
<b>COMPRESIÓN</b>			
Norma : NTP 334.051			
<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	1 día ( )	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	3 días ( )
<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	7 días ( )
<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	28 días ( )
<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	
<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	
<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>		<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	
<b>Promedio (MPa)</b>	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>
<b>Observaciones :</b>		<b>Hora preparación</b>	
.....		1 día	
.....		3 días	
.....		7 días	
.....		28 días	