



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CENIZA VOLANTE COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I SOBRE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN, TRABAJABILIDAD Y COSTO DEL CONCRETO, TRUJILLO 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autores:

Marcos David Castañeda Pacheco

Franco Arturo Salcedo Luis

Asesor:

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz

Trujillo - Perú

2020

## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS

El asesor Alberto Rubén Vásquez Díaz, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de **INGENIERÍA CIVIL**, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la tesis de los estudiantes:

- Castañeda Pacheco Marcos David
- Salcedo Luis Franco Arturo

Por cuanto, **CONSIDERA** que la tesis titulada: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CENIZA VOLANTE COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION, TRABAJABILIDAD Y COSTO DEL CONCRETO, TRUJILLO 2020”, para aspirar al título profesional de: Ingeniero Civil por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al o a los interesados para su presentación.

---

Ing. Alberto Rubén Vásquez Díaz  
Asesor

## ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados han procedido a realizar la evaluación de la tesis de los estudiantes: Marcos David Castañeda Pacheco y Franco Arturo Salcedo Luis, para aspirar al título profesional con la tesis denominada: “INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE CENIZA VOLANTE COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND TIPO I SOBRE LA RESISTENCIA LA COMPRESION, TRABAJABILIDAD Y COSTO DEL CONCRETO, TRUJILLO-2020”

Luego de la revisión del trabajo, en forma y contenido, los miembros del jurado concuerdan:

**Aprobación por unanimidad**

**Aprobación por mayoría**

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Calificativo:

Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Firman en señal de conformidad:

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado

Presidente

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado

---

Ing./Lic./Dr./Mg. Nombre y Apellidos

Jurado

## DEDICATORIA

- A Dios, quien ha hecho posible la realización de este proyecto pese a los inconvenientes presentados a lo largo de este tiempo, siempre ha estado mostrando su apoyo y amor incondicional.
- A mis padres y hermanos, por apoyarme con todo lo que han podido, tanto económica como emocionalmente, siempre han creído en mí y eso me reconfortaba día a día.
- A mi pareja Sara Paredes por brindarme su apoyo moral diariamente en el proceso del cumplimiento de este objetivo.
- A mi tía Elena Tirado, quien fue pieza clave en mi educación personal, considerada como una segunda madre.
- A Lumni Perú S.A. quién apostó por mí en la inversión de mis estudios, cuando más necesitaba de sustento económico.

- Marcos David Castañeda Pacheco

- A Dios, Él supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no rendirme en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.
- A mi familia, gracias a ellos soy lo que soy. Para mis padres y hermanos por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

- Franco Arturo Salcedo Luis

## AGRADECIMIENTO

- A Dios por siempre mostrar su apoyo y amor incondicional.
- A nuestros familiares, quienes han brindado el apoyo necesario de principio a fin.
- A nuestro asesor Alberto Rubén Vásquez Díaz, por compartir sus conocimientos para la elaboración de esta tesis.
- A la Universidad Privada del Norte, por la formación académica impartida permitiendo a través de su plana docente formarnos como profesionales de calidad.
- A la empresa TRUPAL S.A., por brindarnos la facilidad de entrar a su planta y poder extraer la ceniza volante para la ejecución de nuestra tesis.
- A nuestros amigos en general, quienes formaron parte de nuestra etapa de aprendizaje brindando su apoyo a lo largo de todo este tiempo.

Gracias a todos (as)

## TABLA DE CONTENIDO

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA SUSTENTACIÓN DE TESIS .....	2
ACTA DE APROBACIÓN DE LA TESIS .....	3
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
ÍNDICE DE TABLAS .....	9
ÍNDICE DE FIGURAS .....	11
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	13
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	15
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1. Realidad problemática.....	16
1.2. Formulación del problema .....	21
1.3. Justificación .....	21
1.4. Objetivos.....	22
1.4.1. Objetivo general.....	22
1.4.2. Objetivos específicos .....	22
1.5. Hipótesis.....	22
1.5.1. Hipótesis general .....	22
1.5.2. Hipótesis específicas .....	23
1.6. Antecedentes.....	23
1.6.1. Nivel Internacional.....	23
1.6.2. Nivel Nacional.....	36
1.6.3. Nivel Local .....	38
1.7. Bases teóricas.....	40
1.7.1. Concreto .....	40
1.7.2. Generalidades del concreto .....	40
1.7.3. Concreto en estado fresco .....	40
1.7.4. Concreto en estado endurecido .....	41
1.8. Agregados .....	41
1.8.1. Agregado fino .....	42
1.8.2. Agregado grueso.....	43
1.9. Cemento Portland.....	45
1.9.1. Composición química del cemento .....	45
1.10. Agua.....	47
1.10.1. El agua de mezcla .....	47
1.11. Puzolanas .....	48
1.11.1. Clasificación de las puzolanas .....	48
1.12. Ceniza volante.....	49
1.12.1. Origen y clasificación .....	49
1.12.2. Beneficios de la ceniza volante en estado fresco .....	50
1.12.3. Beneficios de la ceniza volante en estado endurecido .....	51

<b>1.13.</b>	<b>Trabajabilidad.....</b>	<b>52</b>
1.13.1.	<i>Asentamiento.....</i>	53
1.13.2.	<i>Control de temperatura.....</i>	54
1.13.3.	<i>Peso unitario del Concreto.....</i>	54
<b>1.14.</b>	<b>Resistencia .....</b>	<b>55</b>
1.14.1.	<i>Resistencia a compresión.....</i>	55
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>		<b>56</b>
<b>2.1.</b>	<b>Operacionalización de variables.....</b>	<b>56</b>
<b>2.2.</b>	<b>Tipo de investigación .....</b>	<b>57</b>
<b>2.3.</b>	<b>Unidad de estudio, población y muestra .....</b>	<b>57</b>
2.3.1.	<i>Unidad de estudio .....</i>	57
2.3.2.	<i>Población.....</i>	57
2.3.3.	<i>Muestra .....</i>	57
<b>2.4.</b>	<b>Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....</b>	<b>58</b>
2.4.1.	<i>Técnica de recolección de datos.....</i>	58
2.4.2.	<i>Instrumentos de recolección de datos.....</i>	58
2.4.2.1.	<i>Caracterización .....</i>	58
2.4.2.2.	<i>Ensayos.....</i>	59
2.4.3.	<i>Análisis de datos .....</i>	60
<b>2.5.</b>	<b>Procedimiento.....</b>	<b>62</b>
2.5.1.	<i>Caracterización de agregados .....</i>	62
2.5.1.1.	<i>Determinación de la granulometría de los agregados (NTP 400.012:2013).....</i>	62
2.5.1.3.	<i>Determinación del peso específico (NTP 400.021:2013).....</i>	65
2.5.1.4.	<i>Determinación del contenido de humedad de los agregados (NTP 339.185:2013).....</i>	67
2.5.2.	<i>Ceniza Volante .....</i>	68
2.5.3.	<i>Diseño de mezcla del concreto .....</i>	69
2.5.4.	<i>Ensayos en el concreto .....</i>	74
2.5.4.1.	<i>Asentamiento del concreto (NTP 339.035:2009).....</i>	74
2.5.4.2.	<i>Temperatura (NTP 339.184:2013).....</i>	75
2.5.4.3.	<i>Peso unitario (NTP 339.046:2008).....</i>	75
2.5.4.4.	<i>Resistencia a compresión (NTP 339.034:2015).....</i>	76
<b>2.6.</b>	<b>Aspectos éticos .....</b>	<b>76</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>		<b>77</b>
<b>3.1.</b>	<b>Caracterización de agregados .....</b>	<b>77</b>
3.1.1.	<i>Análisis granulométrico del agregado fino según la norma NTP 400.012:2013.....</i>	77
3.1.2.	<i>Análisis granulométrico del agregado grueso según la norma NTP 400.012:2013 .....</i>	80
3.1.3.	<i>Peso unitario suelto y compactado de los agregados según la norma NTP 400.017.2011.....</i>	83
3.1.4.	<i>Peso específico y absorción del agregado fino según la norma NTP 400.022:2013.....</i>	84
3.1.5.	<i>Peso específico y absorción del agregado grueso según la norma NTP 400.021:2013 ..</i>	85
3.1.6.	<i>Contenido de humedad de los agregados según la norma NTP 339.185:2013.....</i>	85
<b>3.2.</b>	<b>Diseño de mezcla según ACI 211.....</b>	<b>87</b>
<b>3.3.</b>	<b>Diseño de mezcla del concreto con sustitución de cemento portland tipo I por ceniza volante .</b>	<b>91</b>
3.3.1.	<i>Ceniza volante al 7% .....</i>	91
3.3.2.	<i>Ceniza volante al 12 %.....</i>	94
3.3.3.	<i>Ceniza volante al 17 %.....</i>	94

3.3.4.	<i>Ceniza volante al 22%</i> .....	95
<b>3.4.</b>	<b>Ensayos al concreto en estado fresco</b> .....	<b>96</b>
3.4.1.	<i>Asentamiento del concreto según la norma NTP 339.035:2009</i> .....	96
3.4.2.	<i>Temperatura del concreto</i> .....	96
3.4.3.	<i>Peso unitario del concreto</i> .....	97
<b>3.5.</b>	<b>Ensayos al concreto en estado endurecido</b> .....	<b>98</b>
3.5.1.	<i>Resistencia a compresión según la norma NTP 339.034:2015</i> .....	98
3.5.1.1.	<i>Resistencia a compresión a los 7 días</i> .....	98
3.5.1.2.	<i>Resistencia a compresión a los 28 días</i> .....	100
3.5.1.3.	<i>Resistencia a compresión a los 56 días</i> .....	103
<b>3.6.</b>	<b>Análisis de costos</b> .....	<b>105</b>
3.6.1.	<i>Costo de elaboración para cada diseño de mezcla</i> .....	105
3.6.2.	<i>Análisis comparativo de costo - beneficio</i> .....	106
3.6.3.	<i>Costo sol por resistencia a la compresión</i> .....	107
3.6.4.	<i>Costo y ahorro porcentual frente al diseño de mezcla patrón</i> .....	107
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES</b> .....		<b>108</b>
<b>4.1.</b>	<b>Discusión</b> .....	<b>108</b>
4.1.1.	<i>Caracterización de los agregados</i> .....	108
4.1.2.	<i>Asentamiento del concreto</i> .....	109
4.1.3.	<i>Temperatura del concreto</i> .....	111
4.1.4.	<i>Densidad del concreto en estado fresco</i> .....	112
4.1.5.	<i>Resistencia a compresión</i> .....	113
4.1.6.	<i>Análisis de Costo</i> .....	120
<b>4.2.</b>	<b>Limitaciones</b> .....	<b>122</b>
<b>4.3.</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>123</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		<b>127</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....		<b>128</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>131</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Dosificación de referencia: Hormigón de consistencia seca .....	24
Tabla 2: Dosificación de referencia: Hormigón de consistencia fluida.....	25
Tabla 3: Dosificaciones experimentales.....	26
Tabla 4: Propiedades del concreto fresco.....	33
Tabla 5: Resistencia a la compresión del concreto endurecido (kg/cm <sup>2</sup> ).....	33
Tabla 6: Resultados promedio de esfuerzo a la compresión (Psi) a diferentes días de curado .....	35
Tabla 7: Comparación de resistencias a la compresión (kg/cm <sup>2</sup> ).....	37
Tabla 8: Dosificación para cada porcentaje de remplazos de cenizas volantes (kg/m <sup>3</sup> ) .....	38
Tabla 9: Clasificación de los agregados según su tamaño.....	42
Tabla 10: Husos granulométricos del agregado fino.....	42
Tabla 11: Husos granulométricos del agregado grueso.....	44
Tabla 12: Componentes principales del cemento portland.....	45
Tabla 13: Composición química de las clases de Cenizas Volantes de acuerdo a la norma ASTM C 618-05 .....	50
Tabla 14: Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción, sistemas de colocación y compactación .....	54
Tabla 15: Operacionalización de variables .....	56
Tabla 16: Características físicas y químicas de la ceniza volante de Trupal .....	68
Tabla 17: Resistencia requerida para definir la desviación estándar.....	69
Tabla 18: Relación agua/cemento mediante su $f'c$ .....	69
Tabla 19: Volumen unitario de agua.....	70
Tabla 20: Volumen unitario de agua.....	70
Tabla 21: Volumen de agregado grueso por unidades de volumen de concreto.....	71
Tabla 22: Clasificación del concreto, según su asentamiento.....	75
Tabla 23: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - Muestra N°01 .....	77
Tabla 24: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - Muestra N°02 .....	78
Tabla 25: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - Muestra N°03 .....	79
Tabla 26: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - Muestra N°01 .....	80
Tabla 27: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - Muestra N°02 .....	81
Tabla 28: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - Muestra N°03 .....	82
Tabla 29: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.....	83
Tabla 30: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.....	84
Tabla 31: Peso específico y absorción del agregado fino.....	84
Tabla 32: Peso específico y absorción del agregado grueso.....	85
Tabla 33: Contenido de humedad del agregado fino .....	86
Tabla 34: Contenido de humedad del agregado grueso .....	86
Tabla 35: Datos requeridos de los agregados para el diseño de mezcla.....	87
Tabla 36: Saldo de volumen por completar.....	88
Tabla 37: Resumen de los valores obtenidos .....	89
Tabla 38: Diseño de mezcla .....	90
Tabla 39: Proporción de diseño por bolsa de cemento.....	90
Tabla 40: Saldo de volumen por completar (7% CV).....	91
Tabla 41: Resumen de valores obtenidos (7% CV) .....	92
Tabla 42: Diseño de mezcla al 7% de CV.....	93
Tabla 43: Proporción de diseño por bolsa de cemento con ceniza volante.....	93
Tabla 44: Diseño de mezcla al 12% de CV.....	94
Tabla 45: Proporción de diseño por bolsa de cemento con ceniza volante al 12% .....	94
Tabla 46: Diseño de mezcla al 17% de CV.....	94
Tabla 47: Proporción de diseño por bolsa de cemento con ceniza volante al 17% .....	95
Tabla 48: Diseño de mezcla al 22% de CV.....	95
Tabla 49: Proporción de diseño por bolsa de cemento con ceniza volante al 22% .....	95
Tabla 50: Asentamiento del concreto .....	96
Tabla 51: Temperatura del concreto .....	96
Tabla 52: Peso unitario del concreto – Muestra N° 01 .....	97
Tabla 53: Peso unitario del concreto - Muestra N° 02.....	97
Tabla 54: Peso unitario del concreto – Muestra N° 03 .....	97
Tabla 55: Resistencia a compresión - Probeta patrón - 7 días.....	98

Tabla 56: Resistencia a compresión al 7% de sustitución de CV - 7 días .....	98
Tabla 57: Resistencia a compresión al 12% de sustitución de CV - 7 días .....	99
Tabla 58: Resistencia a compresión al 17% de sustitución de CV - 7 días .....	99
Tabla 59: Resistencia a compresión al 22% de sustitución de CV - 7 días .....	100
Tabla 60: Resistencia a compresión – Probeta patrón - 28 días.....	100
Tabla 61: Resistencia a compresión al 7% de sustitución de CV - 28 días .....	101
Tabla 62: Resistencia a compresión al 12% de sustitución de CV - 28 días .....	101
Tabla 63: Resistencia a compresión al 17% de sustitución de CV - 28 días .....	102
Tabla 64: Resistencia a compresión al 22% de sustitución de CV - 28 días .....	102
Tabla 65: Resistencia a compresión - Probeta patrón - 56 días .....	103
Tabla 66: Resistencia a compresión al 7% de sustitución de CV - 56 días .....	103
Tabla 67: Resistencia a compresión al 12% de sustitución de CV - 56 días .....	104
Tabla 68: Resistencia a compresión al 17% de sustitución de CV - 56 días .....	104
Tabla 69: Resistencia a compresión al 22% de sustitución de CV - 56 días .....	104
Tabla 70 Costo de diseño de mezcla convencional $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ .....	105
Tabla 71 Costo de diseño de mezcla con sustitución por ceniza volante al 7%.....	105
Tabla 72 Costo de diseño de mezcla con sustitución por ceniza volante al 12%.....	105
Tabla 73 Costo de diseño de mezcla con sustitución por ceniza volante al 17%.....	106
Tabla 74 Costo de diseño de mezcla con sustitución por ceniza volante al 22%.....	106
Tabla 75 Análisis Comparativo de Costo - Beneficio.....	106
Tabla 76 Análisis de Costo Sol por Resistencia a la Compresión .....	107
Tabla 77 Costo y Ahorro porcentual comparativo al diseño de mezcla convencional .....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Resistencia a compresión del hormigón con 250 kg/cm <sup>3</sup> de cemento F .....	27
Figura 2: Resistencia a compresión del hormigón con 250 kg/cm <sup>3</sup> de cemento G.....	27
Figura 3: Resistencia a compresión del hormigón con 350 kg/m <sup>3</sup> de cemento F.....	28
Figura 4: Resistencia a compresión del hormigón con 350 kg/m <sup>3</sup> de cemento G .....	28
Figura 5: Asentamiento con diferentes proporciones de ceniza volante .....	30
Figura 6: Resistencia a la compresión final de hormigón para diferentes proporciones de ceniza volante y diferentes edades de curado .....	31
Figura 7: Asentamiento de diseño de estudio.....	37
Figura 8: Resistencia a la compresión y nivel de remplazo según tiempo de curado.....	39
Figura 9: Curva granulométrica del A.F. - Muestra N°01.....	77
Figura 10: Curva granulométrica del A.F. - Muestra N°02.....	78
Figura 11: Curva granulométrica del A.F. - Muestra N°03.....	79
Figura 12: Curva granulométrica del A.G. - Muestra N°01 .....	80
Figura 13: Curva granulométrica del A.G.- Muestra N°02 .....	81
Figura 14: Curva granulométrica del A.G.- Muestra N°03.....	82
Figura 15: Asentamiento del concreto en estado fresco.....	111
Figura 16: Temperatura del concreto.....	112
Figura 17: Peso Unitario del Concreto.....	113
Figura 18: Resistencia a compresión promedio a los 7 días.....	114
Figura 19: Resistencia a compresión promedio a los 28 días.....	116
Figura 20: Resistencia a compresión promedio a los 56 días.....	118
Figura 21: Resistencia a compresión promedio a las tres edades evaluadas .....	119
Figura 22 Análisis comparativo de Costo-Beneficio .....	121
Figura 23 Costo S/. / kg/cm <sup>2</sup> .....	122
Figura 24 Determinación de ahorro porcentual en cada diseño de mezcla.....	122
Figura 25: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probeta patrón.....	131
Figura 26: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 7% de sustitución .....	132
Figura 27: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 12% de sustitución .....	133
Figura 28: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 17% de sustitución .....	134
Figura 29: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 22% de sustitución .....	135
Figura 30: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probeta patrón.....	136
Figura 31: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 7% de sustitución .....	137
Figura 32: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 12% de sustitución .....	138
Figura 33: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 17% de sustitución .....	139
Figura 34: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 22% de sustitución .....	140
Figura 35: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probeta patrón.....	141
Figura 36: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 7% de sustitución .....	142
Figura 37: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 12% de sustitución .....	143
Figura 38: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 17% de sustitución .....	144
Figura 39: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 22% de sustitución .....	145
Figura 40: En la Empresa Trupal S.A. obteniendo la ceniza volante.....	146
Figura 41: En la Empresa Trupal S.A. obteniendo la ceniza volante.....	147
Figura 42: Análisis granulométrico del agregado fino.....	148
Figura 43: Análisis granulométrico del agregado grueso.....	149
Figura 44: Peso unitario suelto del agregado fino .....	150
Figura 45: Resultado del peso unitario suelto del agregado fino .....	151
Figura 46: Peso unitario compactado del agregado fino .....	152
Figura 47: Resultado del peso unitario compactado del agregado fino.....	153
Figura 48: Peso unitario suelto del agregado grueso .....	154
Figura 49: Resultado del peso unitario suelto del agregado grueso .....	155
Figura 50: Peso unitario compactado del agregado grueso .....	156
Figura 51: Resultado del peso unitario suelto del agregado grueso .....	157
Figura 52: Peso específico y absorción del agregado fino .....	158
Figura 53: Peso específico del agregado fino.....	159
Figura 54: Peso específico del agregado fino.....	160
Figura 55: Agregados para el concreto .....	161

Figura 56: Vertiendo el agua en el trompo.....	162
Figura 57: Vertiendo el agregado grueso .....	163
Figura 58: Vertiendo el agregado fino .....	164
Figura 59: Vertiendo el cemento portland tipo I.....	165
Figura 60: Elaborando el concreto en el trompo.....	166
Figura 61: Mezcla de concreto en estado fresco.....	167
Figura 62: Temperatura del concreto.....	168
Figura 63: Peso específico del concreto en estado fresco .....	169
Figura 64: Peso específico del concreto en estado fresco .....	170
Figura 65: Asentamiento del concreto .....	171
Figura 66: Asentamiento del concreto .....	172
Figura 67: Resultado del asentamiento del concreto – Muestra N°01 .....	173
Figura 68: Resultado del asentamiento del concreto – Muestra N°02 .....	174
Figura 69: Asentamiento del concreto - Muestra N°03.....	175
Figura 70: Probetas de concreto de 10 cm x 20 cm .....	176
Figura 71: Elaborando las probetas de concreto.....	177
Figura 72: Chuceando las probetas de concreto .....	178
Figura 73: Compactación de las probetas de concreto.....	179
Figura 74: Compactación de las probetas de concreto – última capa.....	180
Figura 75: Enrasado de las probetas de concreto.....	181
Figura 76: Elaborando las probetas de concreto.....	182
Figura 77: Chuceado de las probetas de concreto.....	183
Figura 78: Compactación de las probetas de concreto .....	184
Figura 79: Enrasado de las probetas de concreto.....	185
Figura 80: Especímenes de concreto .....	186
Figura 81: Curado de las probetas .....	187
Figura 82: Especímenes de concreto curadas .....	188
Figura 83: Ensayo de resistencia a compresión.....	189
Figura 84: Rotura de probeta.....	190
Figura 85: Máquina compresora.....	191
Figura 86: Rotura de probetas .....	192

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Tamaño de muestra.....	57
Ecuación 2: Peso retenido por cada malla.....	63
Ecuación 3: Porcentaje de peso retenido por cada malla .....	63
Ecuación 4: Porcentaje de peso retenido acumulado por cada malla.....	63
Ecuación 5: Porcentaje que pasa por cada malla .....	63
Ecuación 6: Módulo de finura de los agregados.....	63
Ecuación 7: Volumen del molde para peso unitario .....	64
Ecuación 8: Peso unitario suelto de los agregados .....	64
Ecuación 9: Peso unitario compacto de los agregados.....	65
Ecuación 10: Peso específico de la arena.....	66
Ecuación 11: Peso específico superficialmente seco de la arena .....	66
Ecuación 12: Peso específico aparente de la arena .....	66
Ecuación 13: Absorción de la arena .....	66
Ecuación 14: Peso específico de la grava.....	67
Ecuación 15: Peso específico superficialmente seco de la grava.....	67
Ecuación 16: Peso específico aparente de la grava.....	67
Ecuación 17: Absorción de la grava .....	67
Ecuación 18: Humedad de los agregados.....	67
Ecuación 19: Cantidad de cemento (kg/m <sup>3</sup> ) .....	71
Ecuación 20: Cantidad de agregado grueso (kg/m <sup>3</sup> ) .....	72
Ecuación 21: Volumen absoluto.....	72
Ecuación 22: Volumen absoluto de la arena .....	72
Ecuación 23: Cantidad de arena .....	72
Ecuación 24: Corrección por humedad de los agregados.....	72
Ecuación 25: Agua de mezcla corregida (lts/m <sup>3</sup> ).....	73
Ecuación 26: Dosificación de cada material (m <sup>3</sup> ) .....	73
Ecuación 29: Fórmula para hallar el peso del concreto en estado fresco .....	75
Ecuación 30: Resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica (kg/cm <sup>2</sup> ) .....	76

## RESUMEN

La presente investigación se realizó en la ciudad de Trujillo, se determinó la influencia del porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland tipo I de la marca Qhuna, sobre la resistencia a compresión, trabajabilidad y costo del concreto. La elaboración de esta investigación se hizo con la finalidad de dar a conocer una nueva técnica de construcción y nuevos conocimientos referente a la implementación de subproductos industriales en la fabricación del concreto, la metodología que estuvo presente en este trabajo fue experimental pura, probabilístico, teniendo como muestras las probetas de concreto.

Se elaboraron 7 probetas para cada uno de los porcentajes de sustitución (7%, 12%, 17% y 22%), así como también para el diseño patrón ( $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ) y fueron evaluadas en tres edades diferentes (7, 28 y 56 días). Se evaluó la resistencia a compresión de las probetas según la NTP 339.034 y la trabajabilidad del concreto mediante el ensayo del asentamiento según la NTP 339.035 y finalmente se hizo un análisis comparativo de costo.

Los resultados obtenidos en esta investigación nos muestran que los porcentajes de sustitución con mejor desempeño fueron al 7% y 12%, a la edad de 56 días, lograron alcanzar una resistencia a compresión promedio de  $388 \text{ kg/cm}^2$  y  $379 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, en comparación a la probeta patrón que alcanzó una resistencia de  $285 \text{ kg/cm}^2$ . Por dichas observaciones se concluyó que el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza volante por cemento portland se encuentra entre ese rango 7% y 12%. Respecto a la trabajabilidad del concreto esta se ve afectada a medida que se iba incremento el porcentaje de sustitución, es decir, se iba haciendo menos trabajable.

**Palabras clave:** Ceniza volante, cemento portland, resistencia a compresión, trabajabilidad.

## ABSTRACT

The present investigation was carried out in the city of Trujillo, it was determined the influence of the percentage of fly ash as partial substitute of the Portland cement type I of the Qhuna brand, on the resistance to compression, workability and cost of concrete. The elaboration of this investigation was made with the purpose of giving to know a new construction technique and new knowledge referring to the implementation of industrial subproducts in the manufacture of concrete, the methodology that was present in this work was pure experimental, probabilistic, having as samples the concrete samples.

Seven test tubes were elaborated for each one of the substitution percentages (7%, 12%, 17% and 22%), as well as for the standard design ( $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ) and they were evaluated in three different ages (7, 28 and 56 days). The compressive strength of the test pieces was evaluated according to NTP 339,034 and the workability of the concrete by means of the slump test according to NTP 339,035 and finally a comparative cost analysis was made.

The results obtained in this investigation show that the percentages of substitution with better performance were 7% and 12%, at the age of 56 days, achieved an average compressive strength of 388 kg/cm<sup>2</sup> and 379 kg/cm<sup>2</sup> respectively, compared to the standard test piece that reached a strength of 285 kg/cm<sup>2</sup>. From these observations, it was concluded that the optimum percentage of substitution of fly ash by portland cement is between 7% and 12%. The workability of the concrete is affected as the percentage of substitution increases, that is, it becomes less workable.

**Keywords:** Fly ash, portland cement, compressive strength, workability.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

El concreto hasta el día de hoy sigue siendo el material de construcción más importante y más ampliamente utilizado por el hombre, por sus adecuadas propiedades ingenieriles, su bajo costo de producción, su bajo consumo de energía y sus ventajas ecológicas. (O’Reilly, 2007, citado en Mendoza, 2013, pág. 1)

Es bien sabido que el principal componente del concreto es el cemento, producir una tonelada de cemento portland genera una tonelada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), lo cual contribuye aproximadamente entre el 5% y 7% de la cantidad total de  $\text{CO}_2$  que se genera en todo el mundo, por lo que se podría decir que la industria del cemento es sumamente contaminante; por otro, lado se generan estructuras con una vida de servicio corta, pero al contar con insumos que podrían sustituir al material cementante, podríamos contribuir con la preservación medioambiental y también reducir los costos de producción. (Martinez, 2017)

Al adicionar materiales cementantes alternativos al cemento portland, se busca que aporten nuevas cualidades al concreto a la vez que contribuyan al ahorro energético y la disminución de la emisión de contaminantes, que se suscitan en la producción del cemento portland. La industria de la construcción se ha preocupado en buscar la forma de producir concretos con mejores desempeños, tanto técnicos como económicos, y en los últimos tiempos, ecológicos. (De la Cruz, 2015, pág. 6)

Uno de los materiales que se ha estudiado como cementante complementario del cemento portland es la ceniza de carbón, un subproducto obtenido de la combustión del carbón en centrales carboeléctricas, que tradicionalmente se ha considerado como desperdicio, por lo que su eliminación genera costos adicionales. Este material de

desperdicio ocupa grandes áreas superficiales, por lo que se debe eliminar en vertederos, provocando un impacto negativo al medio ambiente. (De la Cruz, 2015, pág. 7)

Actualmente, la producción anual de ceniza volante en el mundo es del orden de 450 millones de toneladas. Únicamente cerca de 25 millones de toneladas, es decir, 6% del total de ceniza volante, se está usando como una puzolana en cementos portland combinados o en mezclas de concreto. Los países en donde se dispone de grandes cantidades de escoria de alto horno como un subproducto, pueden beneficiarse con el uso de grandes volúmenes de escoria granulada, ya sea como un aditivo en la manufactura de cementos portland con escoria. (Roa O. , 2016, pág. 15)

En Estados Unidos, se inició la aplicación de las puzolanas naturales en el concreto, en presas y obras hidráulicas en los años 30, incorporando porcentajes del 20% de cemento. Posteriormente, se introdujo como puzolana las cenizas volantes producidas al quemar carbón en las centrales hidroeléctricas, favorecida por la introducción de nuevas tecnologías con ocasión de la crisis del petróleo en los años 70. (Roa O. , 2016, pág. 22)

En Canadá, en el año 1985 el CANMET (Canadian Center for Mineral and Energy Technology) desarrolló concretos incorporando grandes volúmenes de ceniza volante que tiene todos los atributos del concreto de alto rendimiento, es decir, las excelentes propiedades mecánicas, permeabilidad baja, la durabilidad superior, y que es medioambientalmente adecuado. (Roa O. , 2016, pág. 113)

En Colombia, la empresa AHINCO S.A. dedicada desde el 2004, principalmente a la elaboración de concretos con residuos industriales como la ceniza volante, ha participado en más de 25 proyectos de construcción suministrando totalidades de concreto diseñado con un gran porcentaje de ceniza volante, entre ellas se encuentran unidades residenciales, centros comerciales y torres de oficinas. Algunos de ellos son: Centro Cívico de Antioquia Plaza de la Liberta (Medellín, Antioquia), Centro comercial San Nicolás (Rio negro,

Antioquia), Edificio Torre Porvenir (Medellín, Antioquia), Mall Palms Avenue (Medellín, Antioquia), entre otros. (Agudelo & Espinosa, 2017, pág. 20)

En Perú las adiciones puzolánicas se incorporan desde hace más de una década. En la década pasada significaron aproximadamente algo más del 20% de los despachos de cemento. En 190 se trabajó con adiciones puzolánicas y escoria de alto horno por su economía y propiedades para obras hidráulicas y portuarias. En 1970 se utilizaron adiciones puzolánicas, escorias y filler ya que se tenía ahorro de energía. En 1980 fueron empleadas adiciones puzolánicas, como cenizas volantes, escorias, fillers y microsílíce, obteniendo muchas ventajas en el medio ambiente, así como el aumento de su resistencia y los avances en la tecnología. (Roa O. , 2016, pág. 23)

En Trujillo, hay varias empresas que utilizan carbón en sus calderos con fuente de energía para sus procesos, debido a que este tiene precios bajos y es accesible. Un ejemplo de ellas es la empresa papelera Trupal S.A, la cual emplea una entrada de carbón de 300 TN/día de las cuales el 20% se convierte en ceniza, esta ceniza volante está clasificada como clase F según la norma ASTM, la cual mejora las propiedades mecánicas de concreto en periodos mayores a 56 días. (Balcázar & Castillo, 2014)

La demanda de construcción en la ciudad de Trujillo cada vez es más alta, siendo esta una alternativa recurrente para afrontar la sobrepoblación de la ciudad. De acuerdo con los resultados del censo 2017 elaborado por el INEI, la provincia que concentra el mayor número de habitantes es Trujillo, con 970 016 personas, agrupando poco más de la mitad de la población del departamento (54,5%). Durante el periodo intercensal 2007-2017, se observa que la tasa de crecimiento promedio anual es mayor en la provincia de Virú, con un aumento de la población de 20,4%, creciendo a un ritmo promedio anual de 1,9%; le sigue Trujillo que presenta un aumento de la población de 19,5%. Según el Plan Bicentenario – Perú 2021, Trujillo es la tercera provincia más importante del Perú

poblacionalmente, albergando en su territorio el 2.9 % del total poblacional. Asimismo, según ODEI (Oficinas Departamentales de Estadística e Informática) La Libertad, se estima que para el 2022 se tendrá 1, 082,736 de habitantes. (Chuquizapon & Christian, 2020, pág. 20)

Debido a la pésima planeación, por parte de las autoridades encargadas, las personas tienden a migrar a las ciudades más importantes en busca de mejorar su calidad de vida, presentando un crecimiento poblacional mayor de lo que fueron planeadas. Es por esto la necesidad de construir verticalmente es la tendencia que tienen las grandes ciudades para acoger a grandes cantidades de personas. (Luján, 2011, citado en Chuquizapon & Christian, 2020, pág. 20). Por lo que es necesario la utilización de concretos con óptimas propiedades físicas y mecánicas, así como económicos y sustentables.

La problemática de la industria cementera radica principalmente por el hecho de que la fabricación de 1 tonelada de cemento genera aproximadamente 1 tonelada de CO<sub>2</sub> a la atmósfera incluyendo el agotamiento de las materias primas naturales que emplea y al alto consumo energético ya que la energía necesaria para la producción del Clinker es de 1.700 J/g, pero a causa de las pérdidas de calor el valor es más elevado. (Suárez, 2010, citado en Balcázar & Castillo, 2014, p. 20).

Según el Banco Central de Reserva del Perú (BCR) en el sector construcción de La Libertad entre enero y diciembre de 2019, los despachos de cemento de la empresa Cementos Pacasmayo S.A.A. totalizaron un volumen de 681,6 mil toneladas métricas, lo que significa un incremento de 20.9 por ciento con relación a lo registrado en igual periodo de 2018 (563,7 mil Tm.). (BCRP, 2019). Estimándose por consiguiente que la cantidad de CO<sub>2</sub> emitidas al ambiente en La Libertad en el periodo mencionado anteriormente sería aproximadamente de 681,6 mil Tm.

Debido a esta grave problemática ambiental, uno de los mayores desafíos que enfrenta la industria del concreto es enfocar sus objetivos hacia el logro del desarrollo sustentable, hacia la obtención de concretos sustentables. (Mehta & Monteiro, 1998, citado en Mendoza, 2013).

Con esta visión, hay muchos pasos que se pueden dar para mejorar el proceso de producción del concreto y uno de los primeros consiste en la utilización de residuos industriales, tal como la ceniza volante (desperdicio de las carboeléctricas) como sustituto parcial del cemento Portland. (Gamero, 2008, citado en Mendoza, 2013).

El sustituir parcialmente parte del cemento portland por ceniza de carbón en las mezclas de concreto conlleva un beneficio económico, por ser la ceniza volante un subproducto industrial que las fábricas no le toman la menor importancia y solo son arrojadas en vertederos o rellenos sanitarios, gracias a esto se disminuirían los gastos para la elaboración del concreto y del mismo modo los de eliminación de la ceniza llevando a la contribución con la preservación del medio ambiente.

Estudios realizados han demostrado que la inclusión de la ceniza de carbón o ceniza volante mejora la durabilidad de la mezcla de concreto debido a las características de sus partículas, y con adecuado diseño de mezcla y proporción de remplazo del cemento portland se pueden llegar a obtener resistencias mecánicas comparables a las de un concreto convencional elaborado con solo cemento portland. (De la Cruz, 2015, pág. 7).

Las consecuencias de no aplicarse esta investigación es que, continuaría el excesivo consumo energético de las empresas cementantes causando un impacto negativo al medio ambiente ya que es bien sabido que las empresas productoras de cemento están entre los mayores contaminantes en el mundo. Por otro lado, teniendo en cuenta los elevados volúmenes de residuos por la combustión del carbón utilizadas en centrales eléctricas no serían aprovechados como una alternativa de sustitución cementante al momento de

elaborar el concreto. Esto conllevaría también a no presentar una alternativa económica para las empresas constructoras encargadas de la ejecución de obras de concreto.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cómo influye el porcentaje de sustitución parcial de ceniza volante por cemento portland tipo I sobre las propiedades de compresión, trabajabilidad y el costo del concreto en la ciudad de Trujillo 2020?

## **1.3. Justificación**

Como se sabe la construcción es considerado uno de los sectores que generan mayor consumo de materiales, recursos naturales y consumo energético, se habla de un sector profundamente impactante sobre el medio económico, ecológico y social, sin embargo, su importancia en el desarrollo de la sociedad, nos da idea de los esfuerzos que debemos llevar a cabo para conseguir avanzar hacia un modelo constructivo que no desperdicie energía, ni recursos naturales y a la vez no genere gran cantidad de residuos.

Actualmente, es pertinente la implementación de un modelo y sistema de construcción sostenible, que optimice procesos y recursos, utilizando materiales alternativos de bajo impacto ambiental y con eficiencia económica con iguales o mejores propiedades a las de los materiales existentes.

Es por ello que la presente tesis busca analizar el comportamiento de los residuos industriales (ceniza de carbón) con la finalidad de poder conocer sus propiedades en el concreto y así poder obtener un concreto resistente, económico y sustentable.

El presente proyecto será puesto a disposición de investigadores para que la utilicen como antecedente científico y académico, además de ser un incentivo para el desarrollo de nuevas investigaciones y promover el avance de la tecnología del concreto en el Perú.

## 1.4. Objetivos

### 1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia del óptimo porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland tipo I sobre la resistencia a la compresión, trabajabilidad y el costo del concreto, Trujillo 2020

### 1.4.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los agregados según la NTP.
- Calcular el diseño de mezcla por el método ACI para un concreto estructural convencional con resistencia  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , y para el concreto con sustitución parcial de ceniza volante.
- Elaborar especímenes de concreto sustituyendo parcialmente el cemento portland tipo I por ceniza volante, en porcentajes de 7%, 12%, 17% y 22%.
- Determinar el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza volante por cemento portland a través de un análisis comparativo con la finalidad de obtener mejoras en las propiedades físicas y mecánicas.
- Realizar un análisis de costo de elaboración de un concreto convencional y un concreto sustituido por el porcentaje óptimo de ceniza volante.
- Determinar el asentamiento, peso unitario y temperatura del concreto en estado fresco; y resistencia a la compresión en estado endurecido.

## 1.5. Hipótesis

### 1.5.1. Hipótesis general

La sustitución parcial de cemento portland tipo I por ceniza volante mejorará las propiedades físicas y mecánicas (compresión y trabajabilidad) en un concreto convencional reduciendo los costos de este.

### 1.5.2. Hipótesis específicas

La sustitución parcial del 7 % de ceniza volante por cemento portland tipo I aumenta el peso unitario, así como el esfuerzo a la compresión y reduce la trabajabilidad y los costos de elaboración del concreto convencional.

## 1.6. Antecedentes

### 1.6.1. Nivel Internacional

**TÍTULO: “LA INFLUENCIA DE LAS CENIZAS VOLANTES COMO SUSTITUTO PARCIAL DEL CEMENTO PORTLAND EN LA DURABILIDAD DEL HORMIGÓN” (Molina, 2008)**

Esta tesis doctoral elaborada en Madrid estudió los efectos de la sustitución de cemento Portland por ceniza volante en las propiedades mecánicas y durables del hormigón.

Se ensayaron hormigones de consistencia distinta: seca y fluida. Se emplearon diferentes contenidos de cenizas en combinación con dos cementos comunes de igual designación.

Los ensayos de las propiedades mecánicas comprobaron las resistencias a compresión y tracción indirecta y el módulo de elasticidad en compresión.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la incorporación de cenizas como sustituto parcial del cemento Portland varía el comportamiento del hormigón en función de las características físicas y químicas de los cementos empleados, a pesar de que estos estén catalogados como cementos comunes. Las cenizas volantes, empleadas adecuadamente, constituyen una adición activa que puede mejorar las propiedades durables y mecánicas de los hormigones en la mayoría de los casos. Sin embargo, el empleo de la ceniza volante, sin estudiar los efectos de la misma en el

cemento que reemplaza, puede ocasionar comportamientos inesperados y adversos en el hormigón.

Para la elección del material cementante se siguieron los lineamientos de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE – 98) quien solo admite la adición de cenizas volantes en el hormigón fabricado con cemento tipo I, suministrándose dos cementos de distintos fabricantes. El primero, suministrado por Holcim España, que se denominó con la letra *F*. El segundo, suministrado por Cemex España, denominado *G*.

El hormigón de consistencia seca se diseñó con 250 kg/m<sup>3</sup> de cemento, relación a/c 0.65, arena de fracción 0 – 4 mm, grava de tamaño máximo de 20 mm y un aditivo reductor de agua 0.5 % del peso de cemento. La dosificación del hormigón se ajustó a las especificaciones del ACI 211.3, para hormigones de consistencia seca (0 – 2.5 cm). En la siguiente Tabla 1 se detalla las proporciones utilizadas. Se realizó la medida del asiento del cono de Abrams, obteniendo un asentamiento de 0.5 cm.

*Tabla 1: Dosificación de referencia: Hormigón de consistencia seca*

<b>Componente</b>	<b>Dosificación (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Agua	162.5
Cemento	250.0
Cenizas Volantes	0.0
Arena	1050.0
Grava	808.0
Aditivo	1.25

**Fuente:** Molina, 2008

El hormigón de consistencia fluida adoptó un contenido de cemento de  $350 \text{ kg/m}^3$  y una relación de agua/ cemento de 0.65. La dosificación del hormigón cumple las especificaciones de la norma ACI 2011.1 y se detalla en la Tabla 2. El asentamiento del cono de Abrams fue de 14 cm. Por la docilidad de la mezcla en este caso no fue necesario utilizar aditivos.

*Tabla 2: Dosificación de referencia: Hormigón de consistencia fluida*

Componente	Dosificación ( $\text{kg/m}^3$ )
Agua	227.5
Cemento	350.0
Cenizas Volantes	0.0
Arena	918.0
Grava	780.0
Aditivo	0.0

**Fuente:** Molina, 2008

En la dosificación del hormigón con adición de cenizas volantes, el contenido de ceniza se calculó siguiendo las especificaciones de la Instrucción EHE-98, cuyo art. 37.3.2, *Limitaciones a los contenidos de agua y de cemento*; establece que, para cementos con adiciones, el contenido de cemento,  $c$ , debe ser sustituido por  $c + KF$ , donde  $K$  es el coeficiente de eficacia de las cenizas volantes ( $K = 0,30$ ), y  $F$  el contenido de la adición. Así, la relación de agua/cemento ( $a/c$ ) es sustituida por  $a/(c + KF)$ . Las proporciones de ceniza/cemento en peso empleadas fueron 15, 35 y 50 por ciento. La Tabla 3 muestra las dosificaciones empleadas en los hormigones.

Tabla 3: Dosificaciones experimentales

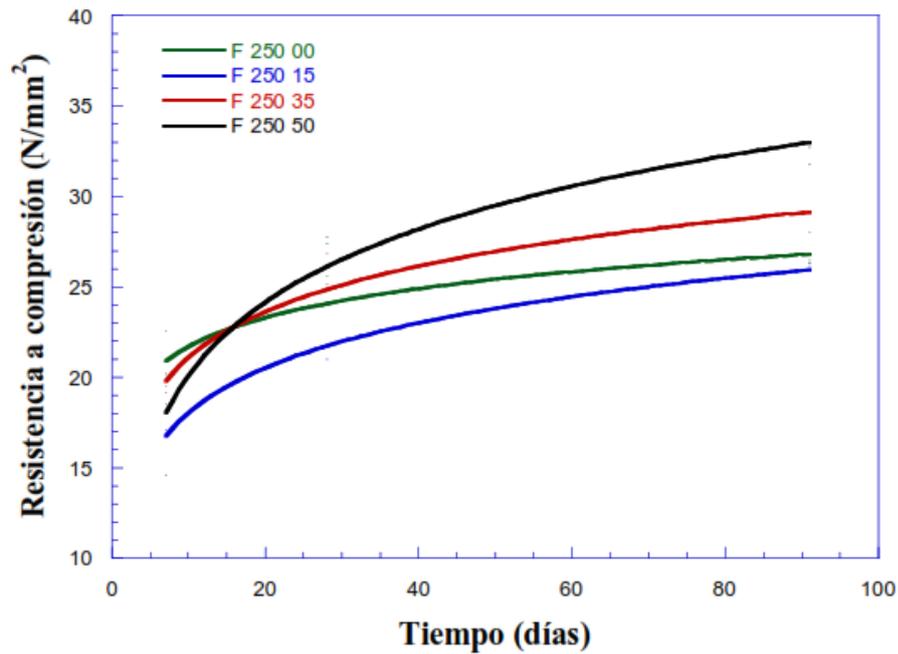
Componente	Porcentaje de cenizas volantes		
	15 (%)	35 (%)	50 (%)
<b><i>Hormigón de consistencia seca</i></b>			
	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
Agua	162.5	162.5	162.5
Cemento	239.2	226.2	217.4
Cenizas Volantes	35.9	79.2	108.7
Arena	1021.7	987.6	964.3
Grava	808.0	808.0	808.0
Aditivo	1.2	1.13	1.09
<b><i>Hormigón de consistencia fluida</i></b>			
	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )
Agua	227.5	227.5	227.5
Cemento	334.9	316.7	304.3
Cenizas Volantes	52.2	110.9	152.2
Arena	878.5	830.6	798.0
Grava	780.0	780.0	780.0
Aditivo	0.0	0.0	0.0

**Fuente:** Molina, 2008

Para determinar las características mecánicas del hormigón de cada amasada, se fabricaron 9 probetas cilíndricas de 150 mm de diámetro por 300 mm de altura, de las cuales 6 se utilizaron para determinar el módulo de elasticidad del hormigón y su resistencia a compresión y los 3 restantes fueron ensayadas para determinar su resistencia a tracción mediante el ensayo de tracción indirecta. En este apartado nos enfocaremos sólo en los resultados de la resistencia a compresión que se obtuvo en la presente tesis.

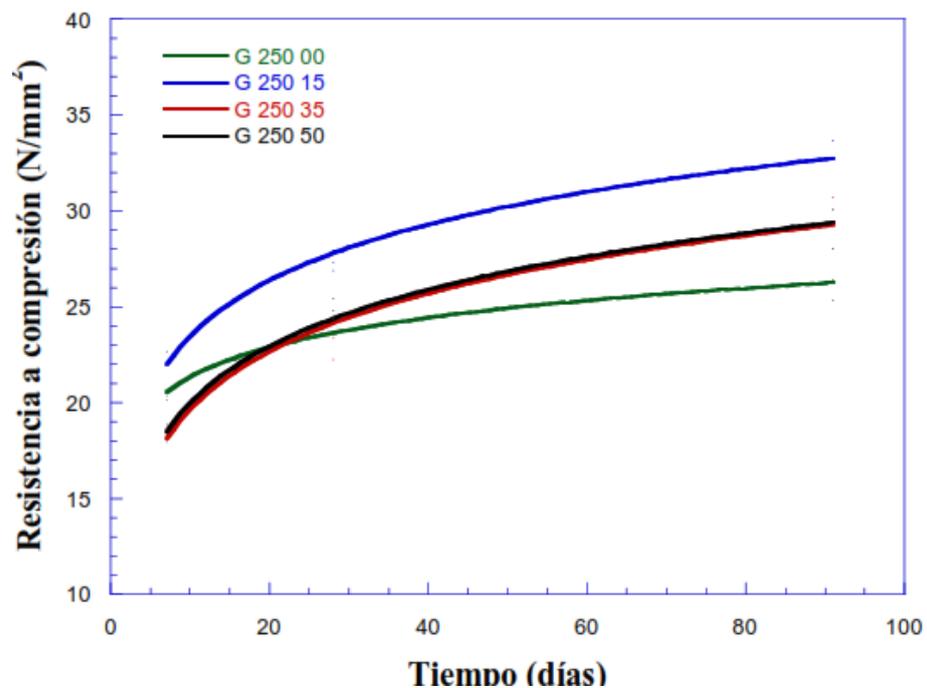
Las Figuras 1 y 2 muestran los resultados de la resistencia a compresión de los hormigones de consistencia seca, los valores corresponden a las resistencias medias de las probetas ensayadas y muestran la influencia del tipo de cemento en las resistencias a compresión a los 7, 28 y 91 días de edad del hormigón.

Figura 1: Resistencia a compresión del hormigón con 250 kg/cm<sup>3</sup> de cemento F



Fuente: Molina, 2008

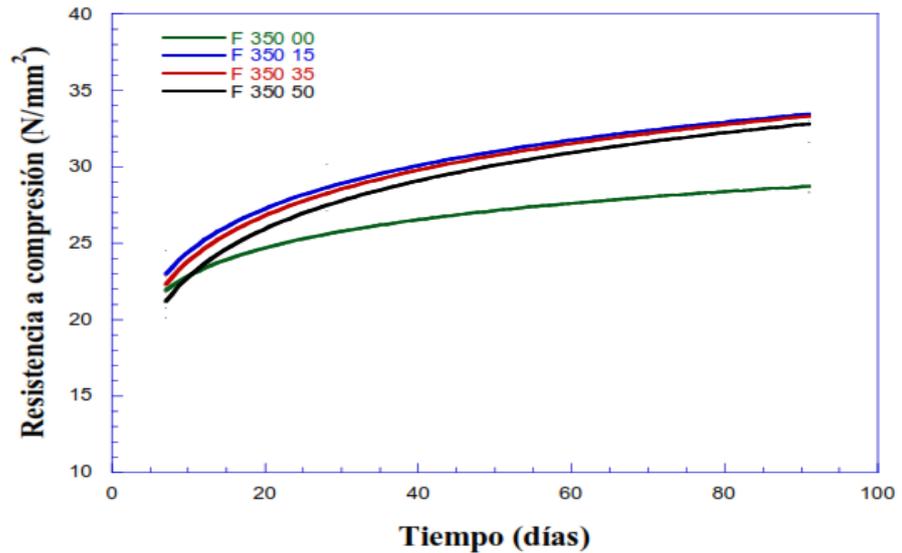
Figura 2: Resistencia a compresión del hormigón con 250 kg/cm<sup>3</sup> de cemento G



Fuente: Molina, 2008

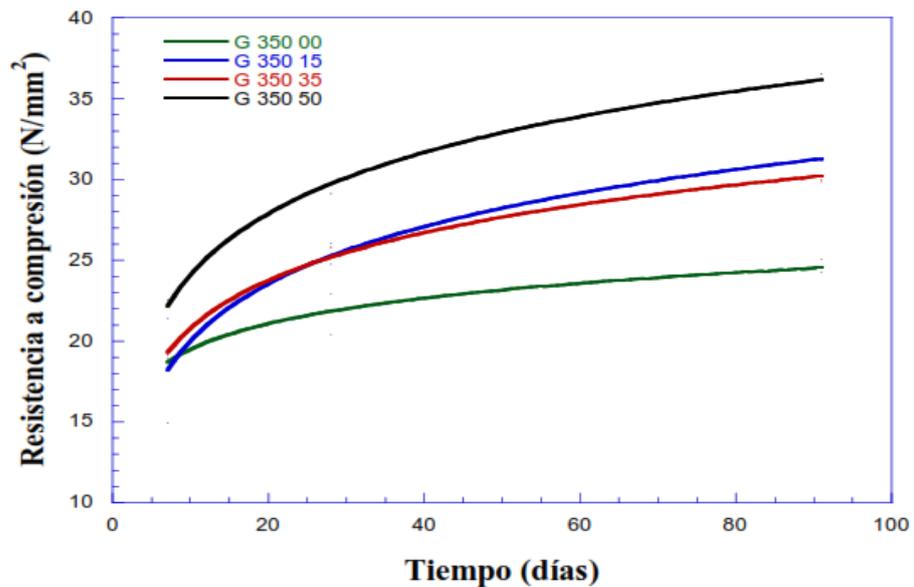
Las Figuras 3 y 4 muestran los resultados de la resistencia a compresión de los hormigones de consistencia fluida, los valores corresponden a las resistencias medias de las probetas ensayadas y muestran la influencia del tipo de cemento en las resistencias a compresión a los 7, 28 y 91 días de edad del hormigón.

Figura 3: Resistencia a compresión del hormigón con 350 kg/m<sup>3</sup> de cemento F



**Fuente:** Molina, 2008

Figura 4: Resistencia a compresión del hormigón con 350 kg/m<sup>3</sup> de cemento G



**Fuente:** Molina, 2008

Molina concluye que, para las resistencias a compresión de los hormigones de consistencia seca, los hormigones fabricados con cemento F ofrecen valores de resistencia a compresión ligeramente superiores a los hormigones fabricados con cemento G. La incorporación de cenizas volantes como sustituto del cemento mejora la resistencia a compresión de los hormigones a los 91 días y en un considerable número de casos antes de los 28 días. La dosificación de cenizas varía su comportamiento por el tipo de cemento empleado. Los hormigones fabricados con cemento G se comportan mejor al utilizar ceniza volante menor al 35 %, mientras que los elaborados con cemento F reaccionan mejor al introducir dosis mayores al 35%.

Por otra parte, para las resistencias a compresión de los hormigones de consistencia fluida, los hormigones con cemento F ofrecen valores de resistencia a compresión superiores a los hormigones fabricados con cemento G (refiriéndose a los resultados de la muestra patrón). La incorporación de cenizas volantes como sustituto del cemento mejora la resistencia a compresión de los hormigones a los 28 días y en un considerable número de casos en o antes de los 7 días. La dosificación de cenizas varía su comportamiento por el tipo de cemento empleado. Los hormigones fabricados con cemento F se comportan mejor al utilizar dosis moderadas ( $\leq 35\%$ ), mientras que los elaborados con cemento G reaccionan mejor al introducir dosis altas ( $> 35\%$ ).

Por último, se concluye que en hormigones que emplearon altas dosis de cemento ( $350 \text{ kg/m}^3$ ) los hormigones con cemento F se comportaron mejor al utilizar dosis moderadas de cenizas ( $\leq 35\%$ ). Los hormigones con cemento G se comportaron mejor al utilizar alta dosis de cenizas (50%). En los hormigones que emplearon bajas dosis de cemento ( $250 \text{ kg/m}^3$ ) se aprecia un mejor comportamiento de los hormigones

que emplean cemento G al utilizar dosis bajas de cenizas (15 %). Los hormigones que emplean cemento F se comportaron mejor al utilizar dosis altas de cenizas (50%).

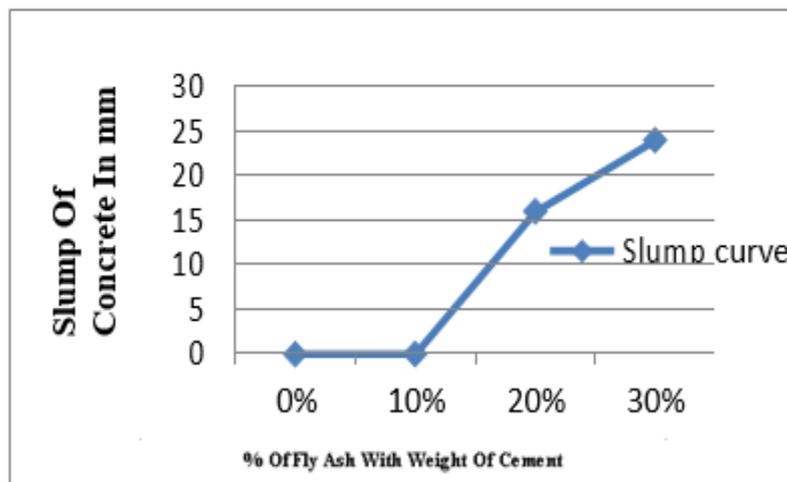
**TÍTULO: “EFFECT TO FLY ASH ON PROPERTIES OF CONCRETE**

(Wankhede & Fulari, 2014)

Su estudio consistió en sustituir el cemento por ceniza volante en porcentajes de 0, 10, 20 y 30%, para esto elaboró 3 probetas cúbicas de concreto de 150 x 150 x 150 mm para cada porcentaje, con relación a/c de 0.35.

Para el concreto de diseño nominal M25 se utilizó agregado grueso de TMN de 1/2”, arena gruesa y cemento portland; midiendo su resistencia a la compresión y asentamiento. Los resultados obtenidos respecto al asentamiento en sustitución de 0 y 10% fueron nulos, para un 20% fue de 16 mm y para 30% aumentó hasta 24 mm, tal como se muestra en la figura 5.

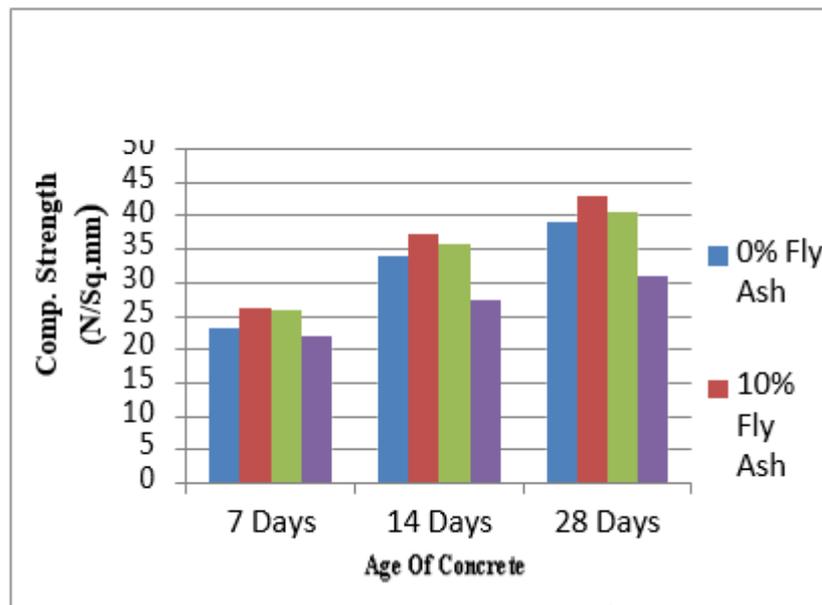
*Figura 5: Asentamiento con diferentes proporciones de ceniza volante*



**Fuente:** Wankhede & Fulari, 2014

Con respecto a su resistencia a compresión para 7,14 y 28 días destacaron los reemplazos de 10 y 20% por encima de la muestra patrón alcanzando resistencias de 26.33 N/mm<sup>2</sup>, 25.93 N/mm<sup>2</sup> a 7 días de curado; 37.23 N/mm<sup>2</sup>, 35.68 N/mm<sup>2</sup> a 14 días y de 43.11 N/mm<sup>2</sup>, 40.59 N/mm<sup>2</sup> a 28 días de curado respectivamente. Los resultados para la muestra patrón (0%) a 7,14 y 28 días fueron de 23.18 N/mm<sup>2</sup>, 34.03 N/mm<sup>2</sup> y 39.07 N/mm<sup>2</sup> respectivamente. Tal como se muestra en la figura 6.

*Figura 6: Resistencia a la compresión final de hormigón para diferentes proporciones de ceniza volante y diferentes edades de curado*



**Fuente:** Wankhede & Fulari, 2014

Se concluye por lo tanto que el asentamiento del hormigón es directamente proporcional al aumento de reemplazo porcentual de ceniza volante. El concreto con un 10% y un 20% de sustitución de cemento con cenizas volantes muestra una excelente resistencia a la compresión a 28 días de curado para una relación de 0,35 a/c superando a la muestra patrón, en el caso del reemplazo del 30% del cemento con cenizas volantes la resistencia de compresión final del concreto disminuye.

**TÍTULO: “EFECTO DE LA CENIZA VOLANTE TIPO F Y DEL HULE RECICLADO DE NEUMÁTICOS EN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DEL CONCRETO” (Mendoza, 2013)**

La presente tesis magistral elaborada en México, tuvo como objetivo obtener un concreto con propiedades mecánicas superiores a las del concreto ecológico elaborado con cemento Portland y ceniza volante tipo F, mediante la incorporación de fibras de hule reciclado de neumáticos a la mezcla.

Para esto se elaboró 11 mezclas de concreto, de las cuales la primera se denominó MC (mezcla patrón) con un  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , la segunda mezcla M0 compuesta por una sustitución del 20% de ceniza volante tipo F por cemento portland, subsecuentemente, en las mezclas M1 a M9, se adicionó tres porcentajes de fibras 0.5, 1 y 2% en volumen de la masa total de concreto. Además, utilizo agregado grueso de tamaño máximo nominal de 3/4”, arena media y una relación agua/cemento de 0.45. Se realizaron ensayos de trabajabilidad y peso unitario en estado fresco; resistencia a la compresión a 7, 14,28 y 90 días de curado; resistencia a la flexión a los mismos periodos de tiempo mencionados y ensayo de tenacidad. Enfocándonos sólo en los resultados a los ensayos de resistencia a la compresión, trabajabilidad y peso unitario con sustitución de ceniza volante (mezcla M0).

Con respecto al peso unitario se observa que existe una reducción ligera de peso en la muestra M0 (20% de sustitución) con respecto a la muestra patrón obteniendo un 1.7% de reducción; en cuanto a la trabajabilidad, la mezcla M0 aumenta un 5.5% con respecto a la mezcla MC, atribuyéndole la mejora de trabajabilidad a la composición esférica de las partículas de la ceniza volante tal como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4: Propiedades del concreto fresco

Mezcla	Ceniza Volante (%)	Peso unitario (Kg/m <sup>3</sup> )	Revenimiento (cm)
MC	0	2291	18.0
M0	20	2253	19.0

Fuente: (Mendoza, 2013)

La presencia de la ceniza volante en la mezcla M0 en comparación con la mezcla MC, reduce la resistencia a la compresión a 28 días en 31%; sin embargo, a los 90 días de curado existe una recuperación en la resistencia a compresión llegando a una pérdida de solo 22% lo cual indica un significativo aumento de la reacción puzolánica de la ceniza volante a largo plazo.

Los resultados de la resistencia a la compresión del concreto endurecido se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Resistencia a la compresión del concreto endurecido (kg/cm<sup>2</sup>)

Mezcla	Ceniza Volante (%)	Ceniza Volante			
		7 días	14 días	28 días	90 días
MC	0	156	207	232	239
M0	20	106	129	161	187

Fuente: (Mendoza, 2013)

Concluyendo que la influencia de la ceniza volante en el asentamiento del concreto fresco es principalmente atribuida a la forma esférica de sus partículas por lo que la utilización de la ceniza volante tipo F como sustituto del cemento Portland

en las mezclas de concreto aumenta la trabajabilidad. La reducción de la resistencia a la compresión de las mezclas de concreto es debida a la sustitución del cemento Portland con ceniza volante tipo F, resultando en una lenta reacción puzolánica de la ceniza volante a edades tempranas. La utilización de estos residuos industriales (ceniza volante y hule de neumáticos de desechos), en grandes cantidades, en la industria de la construcción puede tomarse como solución a los problemas ambientales y económicos, logrando así un concreto sustentable.

**TÍTULO: “ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIÓN DE CENIZA VOLANTE DE TERMOPAIPA”** (Agudelo & Espinosa, 2017)

El presente trabajo de investigación realizado en Ecuador tuvo como objetivo general analizar la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa.

Para el diseño de mezcla en concreto se utilizó la metodología ACI 211.1, la cual exigía una resistencia mínima a la compresión de 3000 Psi a los 28 días; se realizaron 40 muestras, en molde cilíndrico de 20cm de altura y 10 cm de diámetro, teniendo como guía 10 especímenes de muestra testigo y los otros 30 con porcentajes de ceniza volantes divididas en 10%, 20%, 25% y 30% de sustitución por cemento Portland. Se sometieron a ensayos de compresión a edades de 7, 28, 56 y 72 días de curado. Se pueden visualizar los resultados de los ensayos a compresión en la Tabla 6.

Tabla 6: Resultados promedio de esfuerzo a la compresión (Psi) a diferentes días de curado

Cilindro/Días	7	28	56	72
<b>Convencional</b>	2123	3592	4234	4955
<b>10%</b>	2062	3380	3724	3816
<b>20%</b>	1576	2633	2902	3093
<b>25%</b>	1318	2353	2864	2537
<b>30%</b>	1053	2108	2519	2518

**Fuente:** (Agudelo & Espinosa, 2017)

Concluyendo finalmente que el tiempo máximo de generación de resistencia en los cilindros adicionados con ceniza volante, para este estudio fue de 56 días puesto que a 72 días de curado no se encontró un incremento significativo en la resistencia a la compresión con respecto a los 56 días. Se determinó que la mezcla con un 10% de sustitución de cemento Portland por ceniza volante presenta los resultados más próximos a la muestra patrón obteniendo una variación mínima con un 3% de reducción en la resistencia a la compresión a 7 días de curado y una máxima variación con la mezcla de 30% de sustitución, obteniendo un 50% de reducción, al mismo tiempo de curado. A 28 días de curado se observa un 6% de reducción en la resistencia a la compresión para la mezcla de concreto con una sustitución del 10% de ceniza volante por cemento Portland.

### 1.6.2. Nivel Nacional

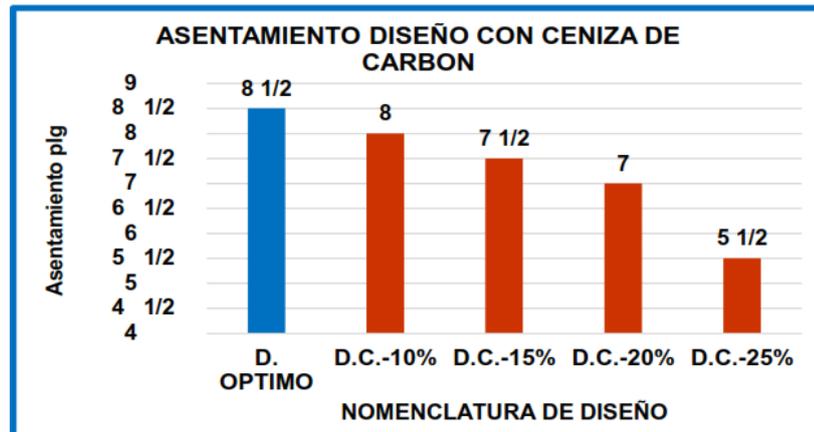
**TÍTULO: “OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO DE ALTO DESEMPEÑO PARA F’C 550 KG/CM<sup>2</sup>, UTILIZANDO CENIZAS DE CARBÓN Y ADITIVOS SUPERPALSTIFICANTE Y RETARDANTE DE FRAGUA” (De la Cruz, 2015)**

La presente investigación, llevada a cabo en Arequipa, tuvo por objetivo optimar la cantidad de cemento Portland tipo I en los diseños de mezcla de concreto de alto desempeño para una resistencia de 550 kg/cm<sup>2</sup> con una relación a/c = 0.40, adicionando cenizas de carbón y aditivos superplastificante y retardante de fragua.

El diseño de mezcla por el método ACI 211.1, utilizó Aditivo Viscocrete 1110 y Plastiment TM12 a 0.74% y 0.13% del peso del cemento respectivamente, una relación de agua/cemento de 0.40 con un tamaño máximo nominal de 3/4” de agregado grueso. Se realizó diseño de mezcla a 0%, 10%, 15%, 20% y 25% de sustitución de ceniza volante por cemento Portland y se realizaron ensayos de concreto en estado fresco y endurecido a periodos de 3, 7 y 28 días de curado.

Referente a los resultados de asentamiento para el diseño de mezcla con 10% de sustitución se obtuvo un asentamiento de 8” comparado con su diseño óptimo de 8 ½” resultando en una reducción del 6%, tal como se aprecia en la figura 7.

Figura 7: Asentamiento de diseño de estudio



**Fuente:** De la Cruz, 2015

Los resultados de resistencia a la compresión a 28 días de la muestra patrón fue de 712 Kg/cm<sup>2</sup> mientras que para la mezcla con sustitución al 10% de ceniza volante obtuvo 730 kg/cm<sup>2</sup> generando un incremento del 2.5%, tal como se describe en la Tabla 7.

Tabla 7: Comparación de resistencias a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

Diseño de Mezcla	3 días	7 días	28 días
Diseño óptimo	601	637	712
Ceniza al 10%	498	588	730
Ceniza al 15%	484	563	706
Ceniza al 20%	398	494	648
Ceniza al 25%	298	438	578

**Fuente:** De la Cruz, 2015

De la Cruz concluye finalmente que la mezcla con mejor desempeño es la que se encuentra en un rango de 10% a 15% de sustitución a una edad de 28 días. El peso unitario del concreto se reduce directamente al incremento de la sustitución de la ceniza de carbón, por lo que en una construcción reduciría la carga muerta, pudiéndose llegar a reducir en un 4.06% el peso unitario tomando la máxima sustitución de la presente investigación y comparándola con el diseño patrón.

### 1.6.3. Nivel Local

**TÍTULO: “USO DE CENIZAS VOLANTES PROVENIENTES DE CALDEROS DE LECHO FLUIDIZADO EN CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES Y SU INFLUENCIA EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN”** (Balcázar & Castillo, 2014),

En la presente investigación, llevada en Trujillo se realizó el ensayo de resistencia a la compresión de 36 probetas según la Norma ASTM C-39, elaboradas bajo el diseño de un concreto autocompactante con remplazo del cemento Portland Tipo I por ceniza volante en 0, 10, 20 y 30%, usándose también dosificaciones de superplastificante Viscocrete 1110 marca Sika de 1.10%, 1.40%, 1.75%, 2.12% respectivamente con la finalidad de mejorar la trabajabilidad de la mezcla. El diseño tiene una relación agua/cemento de 0.44, con una resistencia base de 40 MPa.

La Tabla 8 muestra las cantidades y unidades de cada uno de los componentes utilizados.

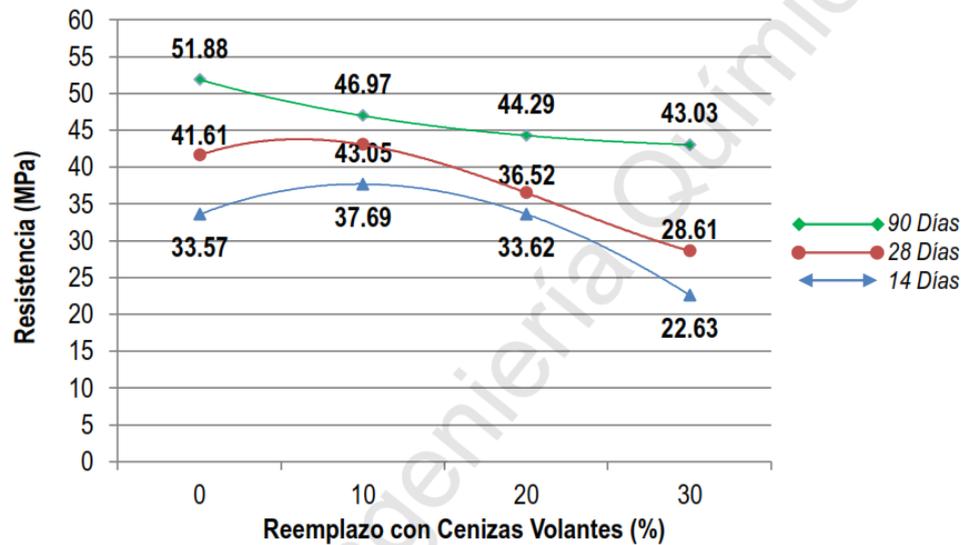
*Tabla 8: Dosificación para cada porcentaje de remplazos de cenizas volantes (kg/m<sup>3</sup>)*

<b>Material</b>	<b>0%</b>	<b>10%</b>	<b>20%</b>	<b>30%</b>
Agua	179.500	182.380	185.240	188.140
Cemento	403.630	363.267	322.904	282.541
Ceniza Volante	0.000	40.363	80.726	121.089
Piedra	706.660	706.660	706.660	706.660
Arena	922.93	922.930	922.930	922.930
Aire (%)	0.025	0.025	0.025	0.025
Superplastificante	4.438	5.853	6.821	8.476
Relación a/c	0.44	0.45	0.46	0.46
<b>TOTAL</b>	<b>2212.745</b>	<b>2215.625</b>	<b>2218.485</b>	<b>2221.385</b>

**Fuente:** Balcázar & Castillo, 2014

Las probetas fueron sometidas al ensayo de resistencia a la compresión a 14, 28 y 90 días de curado, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8: Resistencia a la compresión y nivel de remplazo según tiempo de curado



**Fuente:** Balcázar & Castillo, 2014

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación Balcázar y catillo concluyen que las cenizas volantes son un buen sustituto parcial del cemento para obtener valores de resistencia a la compresión inicial en concretos autocompactantes, hasta un 10% de remplazo; mientras que a 20% y 30% de remplazo son buenos pero a mayores tiempos de curado, al superar los 40 MPa de diseño base.

El porcentaje de sustitución de cenizas volantes que generó resultados aceptables de resistencia a la compresión fue el 10%, quien superó al patrón a 14 y 28 días de curado, en un 12% y 3%, respectivamente, más a los 90 días de curado la muestra patrón logró superar a la muestra de 10% de remplazo de ceniza volante en un 11%.

## **1.7. Bases teóricas**

### **1.7.1. Concreto**

Según la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM C125) “El concreto es un material compuesto que consiste esencialmente en un medio conglomerante dentro del cual se hallan ahogadas partículas o fragmentos de agregados, generalmente una combinación de agregado fino y grueso”

El concreto fácilmente puede adquirir la forma que uno desea, debido a que este se trabaja en su forma fresca o líquida. El concreto convencional se fabrica mediante la mezcla del cemento, agua, agregados gruesos y finos, en algunos casos se agrega un último componente que genéricamente se le nombre como aditivo. (Hernandez, 2010, pág. 1)

### **1.7.2. Generalidades del concreto**

El compuesto de todos los componentes antes mencionados, tienen la capacidad de soportar elevadas cargas, el concreto es un material el cual ha sido cambiado para un mejor desempeño al pasar del tiempo, un claro ejemplo es el crecimiento que ha tenido la construcción, se puede observar en los proyectos masivos de viviendas, edificaciones, vías, entre otros. (Agudelo & Espinosa, 2017)

### **1.7.3. Concreto en estado fresco**

En este estado es donde todos los componentes usados en la fabricación del concreto están preparados en una mezcla homogénea, anteriormente mezclada para hacerla un material de fácil manejo es decir; este trabajable, lista para su uso y para ser llevada al sitio donde se va a emplear, para el tipo de construcción previsto, columnas, muros, cimientos, losas, entre otras. (Agudelo & Espinosa, 2017, pág. 28)

#### **1.7.4. Concreto en estado endurecido**

En esta etapa el concreto después de haberse fraguado, curado, donde pasó un tiempo, el concreto ya ha logrado ganar una determinada resistencia y dependiendo del diseño con el que fue elaborado puede soportar distintos tipos de cargas de compresión, tensión, tracción y corte. (Agudelo & Espinosa, 2017, pág. 29)

#### **1.8. Agregados**

Se definen como aquellos materiales inertes que tienen una resistencia propia suficiente que es la resistencia del grano, pues este no perturba ni afecta el proceso de endurecimiento del concreto y garantizan una adherencia con la mezcla endurecida (Sanchez, 1997)

Por lo general, estos materiales conforman más del 70% de la mezcla de concreto por un metro cúbico; debido a esto se reduce el costo de esta pasta. La calidad de estos materiales mayormente depende de su lugar de origen, además de su forma y densidad. Los orígenes de los agregados implican condiciones específicas de presión y temperatura, así como los procesos de erosión, meteorización, etc. Estos materiales mayormente son extraídos de las canteras y depósitos aluviales. (Hernandez, 2010, pág. 55)

Los agregados antes de ser empleados en la mezcla de concreto deben ser evaluados mediante pruebas de laboratorio según especifican las normas. La prueba de laboratorio más usada para su clasificación es el análisis granulométrico. La siguiente Tabla 9 muestra una clasificación general del material.

Tabla 9: Clasificación de los agregados según su tamaño

TAMAÑO DE LAS PARTICULAS (mm)	DENOMINACIÓN CORRIENTE	CLASIFICACIÓN COMO AGREGADO PARA CONCRETO
<0.002	Arcilla	Fracción muy fina
0.002 - 0.0074 (N° 200)	Limo	
0.0075 - 4.76 (N° 200) - (N°4)	Arena	Agregado Fino
4.76 - 19.1 (N°4) - (N°3/4")	Gravilla	Agregado Grueso
19.1 - 50.8 (N°3/4") - (N°6")	Grava	
50.8 - 152.4 (N°2") - (N°6")	Piedra	
> 152.4 (6")	Rajón piedra bola	

**Fuente:** (Hernandez, 2010, pág. 59)

### 1.8.1. Agregado fino

Es un material fino que se compone mediante partículas libres de polvo que puedan ser perjudiciales, materia orgánica y otras sustancias que puedan alterar su calidad, el agregado debe ser estar en las mejores condiciones posibles, este agregado se encuentra entre las mallas N°4 hasta la N°200. (Sanchez, 1997, pág. 67)

La Norma Técnica Peruana (NTP 400.011:2008) establece que el agregado debe presentar un módulo de finura de entre 2.3 hasta 3.1, el porcentaje de peso retenido del fondo del plato deberá ser menor al 3% y finalmente tendría que estar en los límites especificados en la siguiente Tabla 10:

Tabla 10: Husos granulométricos del agregado fino

Tamiz U.S. Standard	Dimensión de la malla (mm)	Porcentaje en peso que masa
N.º 3/8"	9.52	100
N.º 4	4.75	95-100
N.º 8	2.36	80-100
N.º 16	1.18	50-85
N.º 30	0.60	25-60
N.º 50	0.30	10-30
N.º 100	0.15	2-10

**Fuente:** NTP 400.037:2014

Según (Rivva, 2013, pág. 26) citado por (Chuquizapon & Ibañez, 2020) Si el agregado fino no cumple con los requisitos anteriormente mencionados, el agregado puede ser usado para la mezcla del concreto siempre y cuando el constructor demuestre con estudios que el concreto elaborado con un agregado que si cumple con todos los requerimientos de la norma y el concreto elaborado con dicho agregado que no cumple logren presentar las mismas propiedades.

### **1.8.2. Agregado grueso**

Puede denominarse agregado grueso al agregado constituido por roca partida, grava natural o triturada, agregados artificiales o una combinación de ellos. Así mismo dicho material es considerado agregado grueso cuando es retenido por el tamiz N°4; al igual que el agregado fino el agregado grueso también deberá estar libre de polvo, tierra y otras partículas que puedan afectar el diseño de mezcla y por ende las propiedades del concreto, de igual manera la granulometría a ensayar deberá ser continua. (Hernandez, 2010, pág. 78)

Según la (NTP 400.037:2014) el agregado grueso deberá cumplir con los requisitos especificados en los husos granulométricos de la siguiente Tabla 11, en caso de no cumplir con dichos husos el agregado grueso podrá ser usado siempre y cuando exista un antecedente de que el concreto elaborado usando dicho agregado presente resultados parecidos al concreto convencional.

Tabla 11: Husos granulométricos del agregado grueso

Huso	Tamaño máximo nominal	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados													
		100 mm (4 pulg)	90mm (3 ½ pulg)	75mm (3 pulg)	63 mm (2 ½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1 ½ pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (3/4 pulg)	12.5 mm (1/2 pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 um (No. 50)
1	90 mm a 37.5 mm (3 ½ pulg a 1 ½ pulg)	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	
2	63 mm a 37.5 mm (2 ½ pulg a 1 ½ pulg)	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...	
3	50 mm a 25 mm (2 pulg a 1 pulg)	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	
357	50 mm a 4.75 mm (2 pulg a No. 4)	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...	
4	37.5 mm a 19 mm (1 ½ pulg a ¾ pulg)	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 5	...	0 a 5	...	...	...	
467	37.5 mm a 4.75 mm (1 ½ pulg a No. 4)	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...	
5	25 mm a 12.5 mm (1 pulg a 1/2 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...	
56	25 mm a 9.5 mm (1 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...	
57	25 mm a 4.75 mm (1 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...	
6	19 mm a 9.5 mm (3/4 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...	
67	19 mm a 4 mm (3/4 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	
7	12.5 mm a 4.75 mm (1/2 pulg a No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...	
8	9.5 mm a 2.36 mm (3/8 pulg a No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	
89	12.5 mm a 9.5 mm (1/2 pulg a 3/8 pulg)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9 A..	4.75 mm a 1.18 mm (No. 4 a No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Fuente: NTP 400.037:2014

## 1.9. Cemento Portland

El Instituto Americano del Concreto (ACI 116, 2002) define al cemento como un material inorgánico finamente pulverizado que luego de fraguar se endurece por medio de reacciones y procesos de hidratación. Una vez ya endurecido el cemento logra conservar su resistencia y estabilidad incluso bajo el agua.

### 1.9.1. Composición química del cemento

En el momento en que el cemento se pone en contacto con el agua este reacciona químicamente, generando una serie de nuevos componentes hidratados; estos componentes se desarrollan de tal manera que generan una microestructura la cual se manifiesta por el crecimiento, la relación y ubicación entre los cristales que se forman. (O'Reilly, 2007) Citado en (Mendoza, 2013, pág. 10)

En la siguiente Tabla 12 podemos ver la composición química del cemento portland.

*Tabla 12: Componentes principales del cemento portland*

Componente	Fórmula química	Fórmula abreviada
Silicato tricálcico	$3\text{CaO SiO}_2$	C3S
Silicato bicálcico	$2\text{CaO SiO}_2$	C2S
Aluminato tricálcico	$3\text{CaO Al}_2\text{O}_3$	C3A
Ferrito aluminato tricálcico	$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{Fe}_2\text{O}_3$	C4AF
Yeso	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	CSH2

**Fuente:** (López, 2003, pág. 36)

### 1.9.2. Cemento portland tipo I

El cemento portland tipo I es el adecuado para cualquier uso de construcción en general en donde no se soliciten propiedades específicas que brindan otros tipos de cementos. Este cemento frecuentemente es usado para la preparación de concretos aligerados, para la fabricación de materiales prefabricados y estructuras de rápido desencofrados, para tarrajeos de paredes interiores y exteriores, además de ser usado en morteros para asentado de ladrillos. (Cemex, 2019)

Está compuesto químicamente por un 48% de silicato tricálcico (C3S), 27% de silicato bicálcico (C2S), 12% de aluminato tricálcico (C3A) y un 8% de Ferrito aluminato tricálcico (C4AF). (Hernandez, 2010, pág. 25)

#### ○ **Ventajas**

Según (Cemento Nacional, 2019), define las siguientes ventajas del Cemento Portland tipo I:

- Elevada resistencia en corto tiempo: Se garantiza resistencias de 400 kg/cm<sup>2</sup> a edades superiores de 28 días.
- Mejor rendimiento: Se optimizan las mezclas a usar debido al buen desarrollo de resistencias iniciales y finales.
- Rápido Desencofrado: Se reduce el tiempo de desencofrado debido a que presenta un mejor desarrollo de resistencia a compresión a edades tempranas.
- Buen acabado: Se presentan estructuras con menos presencia de poros, haciendo más sencillo los trabajos posteriores de acabado que se van a realizar.

## 1.10. Agua

Si hablamos de componentes infaltables en la elaboración de mezclas de concreto es el agua, debido a que cumple la primordial función de hidratar al cemento para que este pueda desarrollar sus propiedades ligantes y de endurecimiento. Esta debe estar libre de materias extrañas tales como minerales, aditivos u otros agentes químicos. (Pasquel, 1993)

### 1.10.1. El agua de mezcla

Según (Pasquel, 1993) el agua en las mezclas de concreto tiene tres funciones principales:

- I. Reaccionar con el cemento para hidratarlo
- II. Hacerlo la mezcla mucho más trabajable
- III. Brindar una estructura determinada de vacíos en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio de desarrollarse.

Entonces, la cantidad requerida de agua para los diseños de mezclas de concreto son normalmente por razones de trabajabilidad, más que la necesaria para la hidratación del cemento.

El agua debe estar libre de impurezas ya que ocasionan reacciones químicas adversas que alteran el comportamiento normal de la pasta de cemento. Por lo que se debe tener en cuenta de donde proviene el agua a usar en las mezclas y mediante ello hacer los controles necesarios tanto de P.H. como de las impurezas que contiene. Está incluido el análisis para aguas marinas, aguas con impurezas orgánicas, aguas ácidas y alcalinas. (Hernandez, 2010, pág. 47)

La Instrucción Española (EHE) citado por (Chuquizapon & Ibañez, 2020) proporciona los siguientes valores de resistencia alcanzados según las edades:

- 3 días de curado, se alcanza un 40% de su resistencia
- 7 días de curado, se alcanza un 65% de su resistencia
- 28 días de curado, se alcanza un 100% de su resistencia
- 90 días de curado, se alcanza un 120% de su resistencia
- 360 días de curado, se alcanza un 135% de su resistencia

### **1.11. Puzolanas**

Según la (ASTM C618, 2012), las puzolanas son un material silíceo o sílico - aluminoso, que por sí mismo puede tener poca o ninguna actividad hidráulica pero que, finamente dividido y en presencia de agua, reacciona químicamente con el hidróxido de calcio para formar compuestos que poseen propiedades hidráulicas.

#### **1.11.1. Clasificación de las puzolanas**

Según (Calleja, 1968), citado por (Roa O. , 2016), las puzolanas se clasifican de la siguiente manera:

Puzolanas naturales:

- Materias de origen volcánico
- Materias sedimentarias de origen animal o vegetal.

Puzolanas artificiales:

- Materias tratadas (tratamiento térmico 600 y 900°C).
- Subproductos de fabricación industrial
- Cenizas volantes
- Humo de sílice
- Arcillas naturales (subproductos de la industria del ladrillo cocido)
- Ceniza de cascarilla de arroz
- Escorias granuladas de industrias metálicas no ferrosas.

## 1.12. Ceniza volante

El Instituto Americano del Concreto (ACI 116, 2002) define a la ceniza volante como un residuo finamente dividido resultante de la combustión del carbón en polvo o molido, dicho residuo es transportado a través de la caldera por los gases de escape de la cámara de combustión.

La ceniza volante se compone de partículas esféricas, ya sean huecas o sólidas, mayormente son de naturaleza vítrea (amorfa). Lo que genera la forma esférica de las partículas es el enfriamiento de la ceniza a la salida de la cámara de combustión, pero (Lane & Best, 1982, citado por Mendoza, 2013, pág. 19) reportaron que la forma de las partículas de las cenizas volantes es también una función del tamaño de la partícula.

El peso específico de la ceniza volante, ronda entre 2100 kg/cm<sup>2</sup> hasta 3000 kg/cm<sup>2</sup>, mientras que su área de superficie específica varía desde 170 hasta 1000 m<sup>2</sup>/kg. (Roy, 1981) citado por (Mendoza, 2013, pág. 20)

Respecto al color que presenta la ceniza volante es una variación entre gris claro o gris negro, esto depende de la cantidad de carbón no quemado en la ceniza. El color es algo de menor importancia, pero sí puede indicar una variación de las propiedades de la ceniza volante por los cambios en la fuente de carbón, el contenido de hierro o las condiciones de quemado. (Ramirez, 1990)

### 1.12.1. Origen y clasificación

La ceniza volante se origina cuando se inicia el proceso de combustión del carbón pulverizado, usado en las centrales térmicas como combustible.

De acuerdo a la Asociación Americana de Ensayo de Materiales (ASTM618, 2012) las cenizas volantes se clasifican en tres clases: N, F y C. Las que son de clase F y C son un subproducto de la combustión del carbón. Estas dos se diferencian en

la suma de 3 de los 4 principales componentes de las cenizas SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, por otro lado, la clase F la suma de los tres debe ser mayor a 70% y para la clase C debe estar entre 50% hasta 70%.

*Tabla 13: Composición química de las clases de Cenizas Volantes de acuerdo a la norma ASTM C 618-05*

COMPUESTOS	CLASE		
	N	F	C
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ) + Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + Óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) - (% Mínimo)	70	70	50
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ) - (% Máximo)	4	5	5
Contenido de humedad - (% Máximo)	3	3	3
Pérdida por ignición - (% Máximo)	10	6	6

**Fuente:** ASTM C618-05

Las mezclas de concreto en las que es usado la ceniza volante presentan múltiples beneficios y mejora el rendimiento del concreto, tanto en su estado fresco como en su estado endurecido. A la vez que se usa la ceniza volante en el concreto la cantidad de cemento portland se ve reducida. (De la Cruz, 2015)

### 1.12.2. Beneficios de la ceniza volante en estado fresco

El beneficio que presenta la ceniza volante en el concreto en su estado fresco mayormente es en reducir el requerimiento de agua en la mezcla y aparte mejorar el comportamiento del flujo de la pasta.

(De la Cruz, 2015, pág. 54) Presenta los siguientes beneficios de la ceniza volante en el concreto en su estado fresco:

- Mejora la trabajabilidad: Debido a la forma esférica de las partículas de la ceniza volante se generan bolas pequeñas que quedan en la mezcla dando un efecto lubricante. Dicho efecto mejora la capacidad de bombear el concreto al haber una menor fricción en el proceso de bombeo y término de trabajo plano.
- Menor demanda de agua: Al sustituir cerca del 20% de ceniza volante por cemento en los diseños de mezclas, la demanda de agua se reduce cerca al 10%. Obviamente cuando se sustituya más ceniza volante por cemento se reduce más cantidad de agua. La disminución de demanda de agua no genera que el concreto se seque, encoja o quiebre.
- Reduce el calor de hidratación: Sustituir la ceniza volante con la misma cantidad de cemento puede generar la reducción de calor de hidratación del concreto. Reducir el calor de hidratación no tiene efectos en la dureza a largo plazo o en la durabilidad del concreto. Esta reducción de calor de hidratación genera a la vez un decrecimiento en los problemas que se generan cuando el calor aumenta en las masas de concreto.

### **1.12.3. Beneficios de la ceniza volante en estado endurecido**

(De la Cruz, 2015, pág. 55) Presenta los siguientes beneficios de la ceniza volante en el concreto en estado endurecido:

- Incrementa la dureza final: Debido a la reacción de las cenizas volante con la cal que lleva el cemento portland se genera un aumento de la dureza en el concreto conforme va pasando el tiempo.
- Menor permeabilidad: Al reducirse el requerimiento de agua en la mezcla y además con la producción de los componentes

cementosos, se reduce la interconectividad de los poros en el concreto disminuyendo la permeabilidad.

- Optimiza la durabilidad: El incremento de componentes cementantes, la reducción de la cal libre y la reducción de la permeabilidad conlleva a una mejora en la durabilidad del concreto.
- Mejora la resistencia al ataque del sulfato: La ceniza volante incita a tres acontecimientos que aumentan la resistencia al sulfato:
  - La ceniza volante consume cal libre lo que genera que el sulfato no pueda reaccionar.
  - Al haber una menor permeabilidad se reduce la penetración del sulfato en el concreto.
  - La sustitución de ceniza volante reduce la cantidad de reactivos de aluminio disponible.
- Debido a la reducción de la permeabilidad se logra mejorar la resistencia a la corrosión.

### **1.13. Trabajabilidad**

Se define como la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su tasación es variable, porque depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas que se disponen durante las etapas del proceso, ya que un concreto puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta si las condiciones varían. (Pasquel, 1993)

### 1.13.1. Asentamiento

El método tradicional de medir la trabajabilidad del concreto ha sido desde hace muchos años el “slump” o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad. (Pasquel, 1993)

La calificación de asentamiento indica qué aplicación de concreto es buena para la construcción. Cuanto mayor sea el asentamiento, lo más viable es el hormigón. Si el asentamiento del hormigón es demasiado bajo, no se formará con mucha facilidad. Si es demasiado alto, se corre el riesgo de tener la grava, arena y cemento asentados fuera de la mezcla, por lo que es inutilizable. (Philip, 2006)

- **Asentamiento y Calidad**

Mientras menor sea el requerimiento de agua en un diseño de mezcla de concreto convencional, menor es su asentamiento. Muchas veces los valores pequeños de slump en mezclas convencionales significan una mayor calidad de concreto. Sin embargo, los aditivos adicionales en las mezclas de concretos hacen que sea imposible determinar la calidad del asentamiento del concreto. Un concreto con plastificantes y un alto asentamiento puede requerir menos demanda de agua que una mezcla de concreto convencional, con un asentamiento bajo. A causa de estos aditivos adicionales, se puede establecer el asentamiento de un lote de concreto para prácticamente cualquier valor al tiempo que conserva mezcla una de alta calidad. (Philip, 2006)

Tabla 14: Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción, sistemas de colocación y compactación

Consistencia	Slump (mm)	Tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0 - 20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta: concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20 - 35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones a vibración intensa.
Semiseca	35 - 50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simples reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50 - 100	Pavimentos, losas, muro, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simples reforzadas con vibración.
Húmeda	100 - 150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastantes reforzadas con vibración.
Muy húmeda	150 - 200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo embudo tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Súper Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y no adecuado para vibrarse.

Fuente: Rivera, 2013

### 1.13.2. Control de temperatura

El control de temperatura del concreto en estado fresco es un parámetro que debe ser controlado, debido a que condiciona la velocidad con que se desarrolla el proceso de endurecimiento inicial del concreto. (Pasquel, 1993)

### 1.13.3. Peso unitario del Concreto

Este ensayo permite conocer el Peso Unitario, utilizando un molde rígido; se determina el peso total del concreto y el molde, para después restarle el peso del molde y luego, se divide entre el volumen del molde. Normalmente un concreto normal pesa entre 2240 a 2400 kg/m<sup>3</sup>. (Pasquel, 1993)

## **1.14. Resistencia**

La resistencia de un material puede ser definida como la capacidad para resistir carga sin romperse. Las roturas son identificadas o relacionadas usualmente con la aparición de grietas, aunque el hormigón suele presentar pequeñas grietas, incluso antes de ser puesto en servicio. (Molina, 2008)

Un factor indirecto, pero no por eso menos importante en la resistencia, es el curado del concreto debido a que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto. (Pasquel, 1993)

### **1.14.1. Resistencia a compresión**

Es la capacidad que tiene el concreto de soportar una fuerza impuesta. Como la resistencia a la compresión está influenciada por la hidratación del cemento y esta a su vez determina las propiedades físicas del concreto endurecido, es posible mediante los resultados de resistencia inferir otras propiedades. Una cualidad como esta, algunas veces es usada como el criterio principal para la selección del tipo de concreto, porque la resistencia a la compresión es relativamente fácil de medir y comúnmente hace relación a otras propiedades como la adherencia, resistencia a la tensión y a absorción. (Mehta, 1991)

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Operacionalización de variables

Tabla 15: Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ÍTEMS
Trabajabilidad	Según (Pasquel, 1993) la trabajabilidad del concreto se define como la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación.	El ensayo para medir la trabajabilidad del concreto, será el Asentamiento de acuerdo a la norma NTP 339.035:2009	Diseño de mezcla	Manejabilidad	Asentamiento
<b>Variable Dependiente</b> Resistencia a compresión	Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento (NTP 339.034:2015).	El ensayo se realizará con la máquina de compresión de acuerdo a la norma NTP 339.034:2015.	Propiedades mecánicas	Esfuerzo compresión en probetas de 10 cm x 20 cm	Fuerza (kg) Área (cm <sup>2</sup> )
Costo	Según (Menesby, 1998, citado por Chamberg, 2000) define al costo como la medición en términos monetarios de la cantidad de recursos usados para algún propósito u objetivo	Según estudios se realizará el costo de un concreto con sustitución de ceniza volante por cemento portland por m <sup>3</sup> .	Porcentaje de sustitución	Costo	¿Cuál es el valor de un concreto con sustitución de ceniza volante por cemento portland?
<b>Variable Independiente</b> Porcentajes de sustitución de ceniza volante por cemento portland: 7%, 12%, 17% y 22%.	El Instituto Americano del Concreto (ACI 116, 2002) define a la ceniza volante como un residuo finamente dividido resultante de la combustión del carbón en polvo o molido, dicho residuo es transportado a través de la caldera por los gases de escape de la cámara de combustión	Según estudios (basándonos en los antecedentes) la ceniza volante sustituirá al cemento portland en la mezcla de concreto en ciertos porcentajes.	Propiedades de la ceniza volante	7%, 12%, 17% y 22% de sustitución de ceniza volante por cemento portland tipo I.	¿Cuál es el óptimo porcentaje de sustitución?

Fuente: Elaboración propia, 2020.

## 2.2. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo experimental, debido a que la variable independiente va a modificar la variable dependiente. El diseño es experimental, ya que se manipulará de manera intencional el porcentaje de sustitución de ceniza volante, para analizar las consecuencias que ocasiona esta manipulación sobre las propiedades del concreto.

## 2.3. Unidad de estudio, población y muestra

### 2.3.1. Unidad de estudio

Probetas de concreto normalizadas con sustitución parcial de ceniza volante por cemento portland tipo I en porcentajes de 7%, 12%, 17% y 22%, para los ensayos a la resistencia a la compresión se realizarán con probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro x 20 cm de altura.

### 2.3.2. Población

Todas las probetas de concreto con  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ , sede Trujillo, 2020.

### 2.3.3. Muestra

El tipo de muestreo a usar para la investigación es Probabilístico, debido a que el número de probetas a usar por cada porcentaje de sustitución y edad de curado, se calculó mediante una fórmula estadística, la cual es usada para calcular el tamaño de muestra de poblaciones desconocidas.

*Ecuación 1: Tamaño de muestra*

$$\eta = \frac{z^2 \cdot x \cdot \sigma^2}{\epsilon^2}$$

Donde:

$Z = 1.96$ , por considerar un nivel de confianza al 95% y un nivel de significancia al 5%.

$\sigma = 6$ , obtenida de la investigación realizada por (De la Cruz, 2015).

$\epsilon = 4.62$ , estimado en valor absoluto fijado por criterio de los investigadores.

$\eta = 6.70$ ; Se ha redondeado a un número de 7 unidades por muestra.

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.4.1. Técnica de recolección de datos**

El presente proyecto de investigación utilizará como técnica de recolección de datos la técnica de observación, ya que esta implicará seleccionar, ver y registrar de manera sistemática la conducta y propiedades o características de la actual unidad de estudio; en el presente caso, las probetas de concreto con y sin sustitución de ceniza volante por cemento portland.

### **2.4.2. Instrumentos de recolección de datos**

El instrumento de recolección de datos que se utilizó en la presente investigación fue una planilla de observación, puesto que esta permitirá dar a conocer una mejor descripción de las características y/o propiedades de la actual unidad de estudio.

Por otro lado, los equipos y/o herramientas necesarias para la recolección de datos de cada prueba a realizar fueron:

#### **2.4.2.1. Caracterización**

##### **a) Análisis granulométrico**

Equipos a usar:

- Juego de tamices.
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.

##### **b) Contenido de humedad**

Equipos a usar:

- Recipientes metálicos (bowls).
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Horno u horno microondas ventilado.

**c) Peso unitario suelto y compacto**

Equipos a usar:

- Recipiente cilíndrico.
- Balanza electrónica.
- Varilla compactadora 5/8”.
- Mazo de goma.

**d) Peso específico y absorción del agregado fino**

Equipos a usar:

- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Cocina eléctrica.
- Fiola.
- Molde
- Barra compactadora para los ensayos superficiales de humedad.
- Recipientes metálicos.
- Horno a temperatura  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**e) Peso específico y absorción del agregado grueso**

Equipos a usar:

- Recipientes metálicos.
- Balanza con aproximación de 0.01 gr.
- Balanza de Arquímedes.
- Horno a temperatura  $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**2.4.2.2. Ensayos**

**a) Asentamiento**

Equipos a usar:

- Cono de Abrams
- Base plana
- Varilla para chucear 5/8” y wincha.

**b) Peso específico - Densidad**

Equipos a usar:

- Recipiente cilíndrico.
- Varilla compactadora 5/8” y mazo de goma.
- Balanza.

**c) Temperatura**

Equipos a usar:

- Termómetro de bolsillo bimetálico digital

**d) Resistencia a compresión**

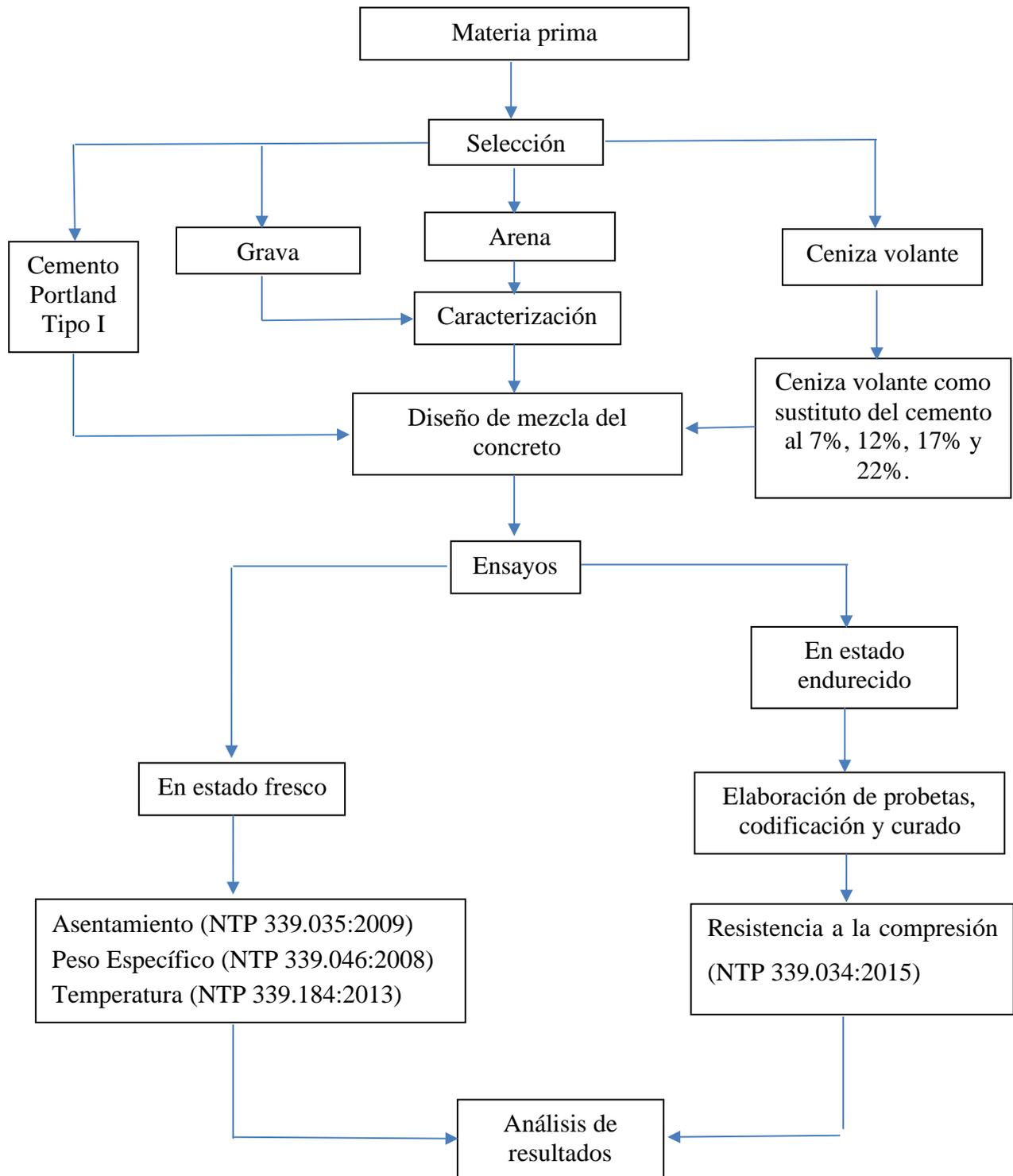
Equipo a usar:

- Neopreno, micrómetro.
- Máquina compresora.

**2.4.3. Análisis de datos**

En el análisis de datos se usó la estadística descriptiva. Los resultados serán presentados mediante tablas y gráficos, de los cuales se realizarán un análisis y discusión de datos en función a nuestros antecedentes, bases teóricas, objetivos e hipótesis planteadas.

El siguiente diagrama de flujo presenta el procedimiento experimental realizado para esta investigación:



**Fuente:** Elaboración propia, 2020.

## 2.5.Procedimiento

### 2.5.1. Caracterización de agregados

#### 2.5.1.1.Determinación de la granulometría de los agregados (NTP 400.012:2013)

En primer lugar, procedemos a realizar el muestreo del agregado fino de acuerdo a la norma NTP 400.010 la cual nos indica que para dicho agregado se toma un aproximado de 10 kg de muestra, dicha muestra será mezclada 3 veces, en la última mezclada se hace una pila cónica, aplanamos con una espátula esta pila cónica hasta uniformizar el espesor y diámetro. Esta muestra aplanada la dividimos en cuatro partes iguales, limpiamos los bordes con una brocha y seleccionamos dos muestras diagonales opuestas.

En segundo lugar, seleccionamos los tamices a usar en el ensayo, para el caso del agregado fino fueron los tamices 3/8”. N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y fondo. Se ordenaron en orden decreciente por el tamaño de abertura de cada tamiz desde la tapa hasta el fondo.

En tercer lugar, seleccionamos nuestra muestra, no menor de 500 gr. y no mayor a 1000gr. Antes de colocar la muestra, procedemos a pesar los tamices (X).

Finalmente, colocamos la muestra en los tamices y agitamos manualmente por 5 minutos constantes. Pesamos cada tamiz con la muestra retenida (Y) en una balanza analítica con sensibilidad de 0.1 g. y capacidad de 2000 g. Este ensayo lo realizaremos 3 veces.

Para el agregado grueso, hacemos el muestreo según especifica la NTP 400.010, tomamos una muestra de 15 kg, dividimos el material en cuatro partes iguales y seleccionamos las partes diagonales opuestas, repetimos este proceso hasta conseguir la cantidad deseada. Los tamices a usar para este ensayo fueron 1 1/2”, 1”, 3/4”, 1/2”, 3/8”, N°4, N°8, N°16 y fondo, pesamos cada tamiz sin la muestra (X) y los

ordenamos en forma decreciente. Luego pesamos 2kg. de muestra del agregado según especifica la norma y la colocamos en los tamices, por último, procedemos a agitarlos manualmente durante 5 minutos constantes.

Finalmente pesamos cada tamiz con la muestra retenida (Y), este ensayo lo realizaremos 3 veces.

Respecto al módulo análisis de datos para la curva granulométrica y módulo de finura de los agregados utilizaremos las siguientes fórmulas:

*Ecuación 2: Peso retenido por cada malla*

$$Pr = Y - X$$

*Ecuación 3: Porcentaje de peso retenido por cada malla*

$$\%Pr = \frac{Pr}{Pt} \times 100$$

*Ecuación 4: Porcentaje de peso retenido acumulado por cada malla*

$$\begin{aligned} \%Pra1 &= \%Pr1 + Pr2 \\ \%Pra2 &= \%Pr2 + Pr3; \dots \end{aligned}$$

*Ecuación 5: Porcentaje que pasa por cada malla*

$$\%Qp = 100 - \%Pra$$

*Ecuación 6: Módulo de finura de los agregados*

$$MF = \frac{\% \text{ Total del peso retenido acumulado hasta la mall N}^\circ 100}{100}$$

**X:** Peso del tamiz (g)

**Y:** Peso de la muestra más el tamiz (g)

**Pr:** Peso de la muestra retenida en la malla (g)

**Pt:** Peso total tamizado (g)

**%Pr, %Pr1, %Pr2, %Pr3:** Porcentajes del peso de la muestra retenida (%)

**%Pra, %Pra1, %Pra2:** Porcentajes del peso de la muestra retenida acumulada (%)

**%Qp:** Porcentaje que pasa (g)

**MF:** Módulo de finura

### 2.5.1.2. Determinación del peso unitario suelto y compacto de los agregados (NTP 400.017:2011)

#### a. Peso unitario suelto

Primero pesamos el molde vacío ( $W_m$ ) en una balanza de 1 g de sensibilidad, y lo colocamos sobre una superficie plana. Luego, pesamos el molde lleno de agua ( $W_{ma}$ ), y con la densidad del agua ( $\rho_{H_2O}$ ) ya sabida calculamos el volumen del molde mediante la siguiente fórmula:

*Ecuación 7: Volumen del molde para peso unitario*

$$V_m = \frac{W_{ma} - W_m}{\rho_{H_2O}}$$

**$W_m$ :** Peso del molde (kg)

**$W_{ma}$ :** Peso del molde lleno de agua (kg)

**$\rho_{H_2O}$ :** Densidad del agua (kg/m<sup>3</sup>)

**$V_m$ :** Volumen del molde (m<sup>3</sup>)

Con el volumen del molde ya sabido, procedemos a llenarlo por medio de una cuchara, teniendo cuidado de dejar la menor cantidad de vacíos posibles. Luego nivelamos con una regla enrasadora sin mucha presión para no compactar ligeramente su estado suelto o para el agregado grueso nivelamos con los dedos. Finalmente, se pesó la muestra con el molde ( $W_s$ ) para luego realizar el siguiente cálculo:

*Ecuación 8: Peso unitario suelto de los agregados*

$$PUSS = \frac{W_s - W_m}{V_m}$$

**$W_s$ :** Peso del agregado suelto más el molde (kg)

### b. Peso unitario compacto

El volumen del molde del peso unitario suelto nos sirve también para el compacto. Se procede a llenar el molde vertiendo el agregado en 3 capas iguales, las cuales fueron compactadas 25 veces con una varilla metálica recta (5/8” x 60cm), además golpeamos el molde por fuera con un martillo de goma 12 veces. Finalmente, se enrasó la superficie y se tomó lectura ( $W_c$ ), para luego realizar el siguiente cálculo:

*Ecuación 9: Peso unitario compacto de los agregados*

$$PUSC = \frac{W_s - W_m}{V_m}$$

**$W_c$ :** Peso del agregado compacto más molde (kg)

Con los valores obtenidos de peso unitario suelto y compacto, se clasificaron los agregados, tomando en cuenta los valores de la siguiente tabla:

### 2.5.1.3. Determinación del peso específico (NTP 400.021:2013)

#### a. Agregado Fino

Primero, sumergimos 2 kg de arena en agua durante 24 horas. Luego, se procedió a realizar el secado de la arena, para colocarlo en un molde cónico; de diámetro superior, diámetro inferior y altura de 4, 8 y 6.5 cm respectivamente, en 3 capas aplicándole 25 apisonadas. Después se levantó el molde verticalmente hasta que un tercio del cono se desmoronó, demostrando que la arena estaba superficialmente seca. Luego pesamos todo el agregado en una balanza con sensibilidad de 0.1 g. y capacidad de 2000g. (D). A continuación, se tomó el peso de la fiola de 1000 ml más agua hasta la marca de calibración (B). Además, se vertió el material en estado superficialmente seco en la fiola y se llenó de agua hasta la marca de calibración, verificándose que no presente aire atrapado entre las partículas de arena, para después tomar

su peso (C). Finalmente, llevamos la muestra húmeda a una estufa a  $110 \pm 5$  °C durante 24 horas para determinar su peso seco (A) para luego realizar los siguientes cálculos:

*Ecuación 10: Peso específico de la arena*

$$PeM = \frac{A}{B+D-C}$$

*Ecuación 11: Peso específico superficialmente seco de la arena*

$$PUSS = \frac{D}{B+D-C}$$

*Ecuación 12: Peso específico aparente de la arena*

$$PeA = \frac{A}{B + A - C}$$

*Ecuación 13: Absorción de la arena*

$$A(\%) = \frac{D-A}{A} \times 100$$

**A:** Peso de la muestra seca en la estufa (g)

**B:** Peso de la fiola más muestra (g)

**C:** Peso de la fiola con la muestra y agua (g)

**D:** Peso de la muestra superficialmente seca (g)

#### **b. Agregado grueso**

Primero, se sumergió 2 kg. de piedra en agua durante 24 horas. Luego, se retiró la muestra del agua, utilizamos una franela para eliminar el exceso del agua. Posteriormente, eliminamos todo el material pasante por el tamiz N° 4. Después, se halló el peso de la muestra, el cual vendría a ser el peso superficialmente seco en una balanza con sensibilidad de 0.1g y capacidad de 2000 g. (D). Además, se colocó la muestra en la canastilla y se introdujo en un balde con agua, para determinar el peso sumergido (E). Finalmente, se llevó la muestra húmeda en una estufa a  $110 \pm 5$ °C para determinar su peso seco (A) y así realizar los siguientes cálculos:

*Ecuación 14: Peso específico de la grava*

$$PeM = \frac{A}{D - E}$$

*Ecuación 15: Peso específico superficialmente seco de la grava*

$$PeSSS = \frac{D}{D - E}$$

*Ecuación 16: Peso específico aparente de la grava*

$$PeA = \frac{A}{A - E}$$

*Ecuación 17: Absorción de la grava*

$$PUSS = \frac{D - A}{A} \times 100$$

**A:** Peso de la muestra seca en la estufa (g)

**D:** Peso de la muestra superficialmente seca (g)

**E:** Peso de la muestra sumergida en agua (g)

#### **2.5.1.4. Determinación del contenido de humedad de los agregados (NTP 339.185:2013)**

Primero, se pesó un recipiente metálico, en una balanza con una sensibilidad de 0.1 g. (A). Posteriormente, se pesó una muestra representativa en estado natural, en el recipiente metálico (B). Luego, se colocó la muestra en una estufa a  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  durante 24 horas, hasta conseguir el peso seco de la muestra (C). Finalmente, se determinó el contenido de humedad usando la siguiente expresión:

*Ecuación 18: Humedad de los agregados*

$$W(\%) = \frac{B - C}{C - A} \times 100$$

**A:** Peso del recipiente metálico (g)

**B:** Peso de la muestra húmeda en el recipiente metálico (g)

**C:** Peso de la muestra seca en el recipiente metálico (g)

### 2.5.2. Ceniza Volante

Las cenizas de carbón utilizado en esta investigación provienen de las calderas de la papelería TRUPAL de Santiago de Cao, la Libertad, según las especificaciones de la ASTM C – 618, estas cenizas se encuentran clasificadas como cenizas de tipo F.

Para lo que se presenta el siguiente cuadro con la descripción de su composición química y física:

*Tabla 16: Características físicas y químicas de la ceniza volante de Trupal*

CONSTITUYENTES	COMPOSICIÓN (%)
Oxido de Silicio, SiO <sub>2</sub>	44.5
Oxido de Aluminio, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27.38
Oxido Férrico, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.63
Oxido de Calcio, CaO	0.63
Oxido de Magnesio, MgO	0.59
Trióxido de Azufre, SO <sub>3</sub>	0.45
Oxido de Sodio, Na <sub>2</sub> O	0.36
Oxido de Potasio, K <sub>2</sub> O	1.87
Oxido de Titanio, TiO <sub>2</sub>	1.44
Pentóxido de Fósforo, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.22
Trióxido de Cromo, Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02
Oxido de Magnesio, MnO	0.08
Perdida por Ignición, P.F.	20.82
Peso Específico (kg/m <sup>3</sup> )	2280
Humedad	1.28

**Fuente:** Cementos Yura S.A.

### 2.5.3. Diseño de mezcla del concreto

#### a. Cálculo de la resistencia promedio ( $f'_{cr}$ )

Se halló el valor de acuerdo a la siguiente tabla:

*Tabla 17: Resistencia requerida para definir la desviación estándar*

<b>Rm = Resistencia prom.</b>	
<b><math>f'c</math> (kg/cm<sup>3</sup>)</b>	<b><math>f'_{cr}</math> (kg/cm<sup>3</sup>)</b>
< 210	$f'c + 70$
210 a 350	$f'c + 84$
> 350	$f'c + 98$

**Fuente:** ACI 211.1

#### b. Cálculo de la relación a/c

Se obtuvo a partir de la resistencia promedio y mediante la siguiente tabla:

*Tabla 18: Relación agua/cemento mediante su  $f'c$*

<b><math>f'_{cr}</math> (28 días)</b>	<b>Relación agua-cemento de diseño en peso</b>	
	<b>Concretos sin aire incorporado</b>	<b>Concretos con aire incorporado</b>
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	---
450	0.38	---

**Fuente:** ACI 211.1

**Concreto sin aire incorporado:** empleado en climas cálidos.

**Concreto con aire incorporado:** empleado en climas fríos.

**c. Selección del volumen de agua por m<sup>3</sup> de concreto**

De acuerdo a la elección de nuestro tamaño máximo nominal del agregado grueso, y el asentamiento deseado se procedió a seleccionar el volumen unitario de agua a partir de la siguiente tabla:

*Tabla 19: Volumen unitario de agua*

Slump	Agua en lts/m <sup>3</sup> , para los tamaños máximos nominales de agregado y consistencia indicados							
	3/8 "	1/2 "	3/4 "	1 "	1 1/2 "	2 "	3 "	6 "
<i>Concretos sin aire incorporado</i>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	---
<i>Concretos con aire incorporado</i>								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Fuente: ACI 211.1

**d. Selección del porcentaje de aire atrapado**

En los concretos siempre hay un pequeño porcentaje de aire atrapado, el cual depende del aporte de los materiales, granulometría y tamaño máximo del agregado, se estima el porcentaje de aire atrapado para el diseño mediante la siguiente tabla:

*Tabla 20: Volumen unitario de agua*

TMN del agregado grueso	Aire atrapado
3/8"	3
1/2"	3.5
3/4"	2
1"	1.5
1 1/2"	1
2"	0.5
3"	0.3
4"	0.2

Fuente: ACI 211.1

**e. Cálculo de la cantidad de cemento por m<sup>3</sup> de concreto**

Conocido el volumen de mezclado de agua por unidad de volumen de concreto y la relación a/c, se calculó el factor cemento por unidad cúbica de concreto, dividiendo el volumen de mezclado de agua entre la relación a/c, obteniéndose el número de kilos de cemento por unidad cúbica de concreto, como se indica en la siguiente ecuación:

*Ecuación 19: Cantidad de cemento (kg/m<sup>3</sup>)*

$$\text{Cantidad de cemento} = \frac{\text{volumen de agua (l)}}{r \text{ a/c}}$$

**f. Cálculo de la cantidad de agregado grueso por m<sup>3</sup> de concreto**

De la Tabla N° 21, en base al módulo de fineza de la arena y el tamaño máximo nominal del agregado grueso se obtuvo el volumen compactado en seco (V<sub>c</sub>), para convertirlo a kilos por unidad cúbica de concreto se tuvo que multiplicar por su peso unitario compactado (PUCS), como se muestra en la siguiente ecuación:

*Tabla 21: Volumen de agregado grueso por unidades de volumen de concreto*

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino			
	MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8 "	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 "	0.66	0.64	0.62	0.6
1 "	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2 "	0.76	0.74	0.72	0.7
2 "	0.78	0.76	0.74	0.72
3 "	0.81	0.79	0.77	0.75
6 "	0.87	0.85	0.84	0.81

**Fuente:** (ACI.211.1, 2014)

*Ecuación 20: Cantidad de agregado grueso (kg/m<sup>3</sup>)*

$$\text{Cantidad de AG} = PUCS \times Vc$$

### g. Cálculo de volúmenes absolutos

Para el cálculo de volumen del agregado grueso, cemento y agua se dividió cada peso del material sobre su peso específico en kilogramos por metro cúbico, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

*Ecuación 21: Volumen absoluto*

$$V_{abs} = \frac{\text{Cantidad del material}}{\text{Peso específico del material}}$$

### h. Cálculo de la cantidad de arena por m<sup>3</sup> de concreto

Primero se determinó su volumen absoluto a partir de la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos hallados (agua, cemento), luego para obtener su peso, se multiplicó su volumen absoluto por su peso específico en kilogramos por metro cúbico, como se aprecia en la siguiente ecuación:

*Ecuación 22: Volumen absoluto de la arena*

$$V_{abs \ A.F.} = 1 - (\Sigma \text{Volúmenes abs. conocidos})$$

*Ecuación 23: Cantidad de arena*

$$\text{Cantidad de AF} = V_{abs \ AF} \times Pe \ AF$$

### i. Corrección por humedad de los agregados

*Ecuación 24: Corrección por humedad de los agregados*

$$\text{Cantidad final de agregado} = Cm \times \left(1 + \frac{\% \text{Humedad}}{100}\right)$$

#### j. Cálculo de agua efectiva

$$Agua\ AG = Cm \times \left( \frac{\%Absorción - \%Humedad}{100} \right)$$

$$Agua\ AF = Cm \times \left( \frac{\%Absorción - \%Humedad}{100} \right)$$

Con estos datos finalmente hallamos la cantidad de agua efectiva de la mezcla, tal como se muestra en la siguiente ecuación:

*Ecuación 25: Agua de mezcla corregida (lts/m<sup>3</sup>)*

$$Agua\ efectiva = Asc - (Agua\ AG + Agua\ AF)$$

**Asc:** Cantidad de agua de mezcla sin corregir (lts/m<sup>3</sup>)

#### k. Cálculo de las dosificaciones de los materiales

*Ecuación 26: Dosificación de cada material (m<sup>3</sup>)*

$$Volumen\ de\ cada\ material = \frac{Cantidad\ final\ de\ cada\ material}{Cantidad\ final\ de\ cemento}$$

#### l. Cálculo de la cantidad de ceniza volante

Este cálculo se realizó para los diferentes porcentajes de sustitución de cemento portland por ceniza volante (7%, 12%, 17% y 22%).

En primer lugar, se halló el 7% del peso total del cemento obtenido en el diseño de mezcla patrón y debido a que es sustitución, la cantidad de cemento se verá reducida.

En segundo lugar, ya con el peso de la ceniza volante, procedemos a obtener su volumen mediante la división entre su peso específico que según la tabla N°16 es 2280 kg/m<sup>3</sup>, debido a esto obtenemos un nuevo saldo de volúmenes. Tanto la cantidad como el volumen del agregado grueso se mantendrán igual para todos los porcentajes de sustitución de ceniza volante, esto debido a que dicha cantidad del agregado grueso se obtiene según la tabla N°16, en comparación con la obtención de la cantidad del agregado

fino que depende de la suma de los volúmenes de todos los materiales a usar en la elaboración del diseño de mezcla (Cemento, Ceniza volante, Agua, Agregado grueso) y aparte el volumen de porcentaje de aire atrapado; a la suma de todos estos volúmenes le restamos 1, debido a que estamos elaborando el diseño de mezcla para un  $1\text{m}^3$  de concreto. Con este volumen obtenemos la cantidad en peso del agregado fino multiplicando dicho valor por su peso específico. Por último seguimos con el mismo procedimiento del diseño de mezcla patrón, las correcciones de humedades y el aporte de agua necesaria para la mezcla.

#### **2.5.4. Ensayos en el concreto**

##### **2.5.4.1. Asentamiento del concreto (NTP 339.035:2009)**

Para la elaboración de este ensayo, se utilizó una muestra de concreto fresco mezclado, un cono de Abrams de altura de 300 mm, diámetro inferior de 200 mm y superior de 100 mm; una barra compactadora de acero liso de 16 mm de diámetro y 600 mm de longitud; una bandeja metálica plana de 600 mm x 600 mm y una regla de metal de 300 mm de longitud.

Primero, se humedeció y la bandeja metálica plana para que no absorban el agua de la muestra. Posteriormente se colocó el cono sobre la bandeja pisando firmemente las aletas, siempre manteniendo limpio el perímetro. Luego se procedió a llenar el molde vaciando el concreto en tres capas, cada capa aproximadamente de  $1/3$  del volumen del molde. Después cada capa fue compactada aplicándose 25 golpes con la barra compactadora distribuidos en toda la sección de la capa. Ya llenada el cono, se enrasó rodando la barra compactadora sobre la parte superior del molde para evitar el exceso de la muestra. Luego se procedió a retirar el cono con cuidado, lento y en forma vertical, esto para evitar alguna modificación en la muestra. Finalmente, en forma rápida se calculó el asentamiento, midiendo la distancia entre la cara del centro superior de la muestra con la altura del cono.

Luego clasificamos los resultados, según los valores establecidos por la ACI 211.3.

*Tabla 22: Clasificación del concreto, según su asentamiento.*

<b>Consistencia</b>	<b>Asentamiento (“)</b>
Extremadamente seca	-
Muy seca	-
Seca	0 a 1
Semiplástica	1 a 3
Plástica	3 a 5
Altamente plástica	5 a 7.5

**Fuente:** ACI 211.3

#### **2.5.4.2. Temperatura (NTP 339.184:2013)**

Se procede a introducir el termómetro digital unos 75 mm como mínimo dentro de la mezcla de concreto en estado fresco, luego se presiona levemente el concreto en la superficie alrededor del termómetro para que la temperatura ambiente no afecte la toma. Se deja el termómetro un mínimo de 2 minutos, pero no más de 5, finalmente se procede a la toma de dato con una aproximación de 0.5° C.

#### **2.5.4.3. Peso unitario (NTP 339.046:2008)**

Primeramente, se pesa el recipiente cilíndrico a usar en el ensayo, para determinar su volumen, luego se procede a hacer el vaciado en 3 capas, por cada capa se chucea 25 veces con una varilla de fierro de forma espiral y aparte 15 golpes por todos los lados del recipiente con un mazo de goma. Ya llenado la mezcla de concreto en el recipiente se procede a anotar el peso de este. El ensayo se realiza según la norma 3 veces para tener resultados más certeros. Para obtener el peso unitario del concreto en estado fresco se usa la siguiente fórmula:

*Ecuación 27: Fórmula para hallar el peso del concreto en estado fresco*

$$PU = \frac{(P.\text{recipiente} + \text{concreto}) - (P.\text{recipiente})}{\text{Volumen del recipiente}}$$

**Fuente:** NTP 339.046:2008

#### 2.5.4.4. Resistencia a compresión (NTP 339.034:2015)

En primer lugar, se retiraron las probetas de la poza de curado y se sacó sus superficies. Posteriormente, se tomaron las medidas del diámetro y altura de la probeta, con el diámetro obtenido calculamos el área de la superficie de la probeta. Después se midió el diámetro de la probeta con un micrómetro con aproximación de 0.1 mm y la altura con una regla graduada. A continuación, se colocó y alineó la probeta en la máquina compresora para su respectivo ensayo, la carga aplicada de manera continua tuvo una velocidad de 2.4 kN/s, hasta que se produjo su rotura. Por último, se tomó lectura de la carga máxima soportada por la probeta en kilo Newton, para reemplazar en la siguiente ecuación:

*Ecuación 28: Resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica (kg/cm<sup>2</sup>)*

$$f'c = \frac{F}{A} \times 10.197$$

**f'c:** Resistencia a la compresión (kg/cm<sup>2</sup>)

**F:** Carga máxima de rotura (KN)

**A:** Área de la probeta cilíndrica (mm<sup>2</sup>)

#### 2.6. Aspectos éticos

Esta tesis de investigación es propia, busca contribuir con todas las empresas constructoras que están en busca de una alternativa de construcción más económica y sustentable, pero sin reducción de la calidad del producto final en este caso el concreto.

Se contó con la compañía y supervisión del asesor de esta investigación para realizar los ensayos fijados para dicha tesis. Asimismo, los resultados del estudio son reales y fidedignos.

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Caracterización de agregados

#### 3.1.1. Análisis granulométrico del agregado fino según la norma NTP 400.012:2013

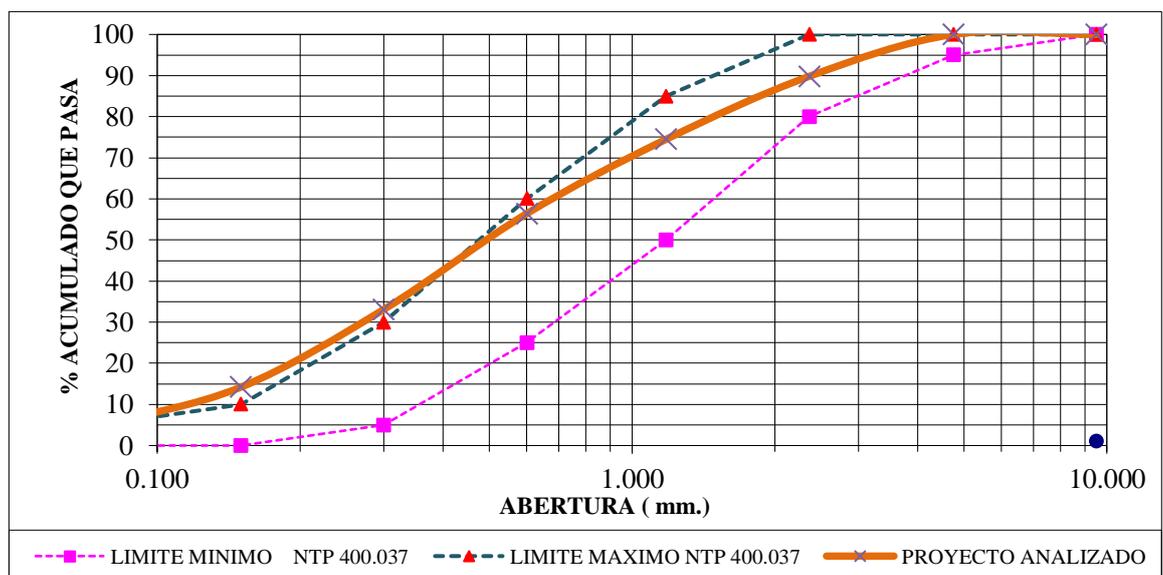
Según la norma se llevó a cabo tres veces dicho ensayo para la confiabilidad de los resultados, se utilizaron los tamices N°3/8”, N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100, N°200 y fondo. Se puede apreciar que en los husos granulométricos existe una mínima variación con respecto a los rangos establecidos por la NTP (Tabla 10).

Tabla 23: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - Muestra N°01

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido Parcial	% Peso Retenido Acumulado	% Que Pasa
N°3/8"	9.500	0	0.0	0	100.0
N°4	4.750	0	0.0	0	100.0
N°8	2.360	125	10.2	10.2	89.8
N°16	1.180	188	15.3	25.5	74.5
N°30	0.600	223	18.1	43.6	56.4
N°50	0.300	286	23.3	66.9	33.1
N°100	0.150	232	18.9	85.8	14.2
N°200	0.075	117	9.5	95.3	4.7
Fondo	-	58	4.7	100.0	0.0
<b>PESO RETENIDO (g) =</b>		<b>1229</b>	<b>100.0</b>	<b>MF= 2.32</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 9: Curva granulométrica del A.F. - Muestra N°01



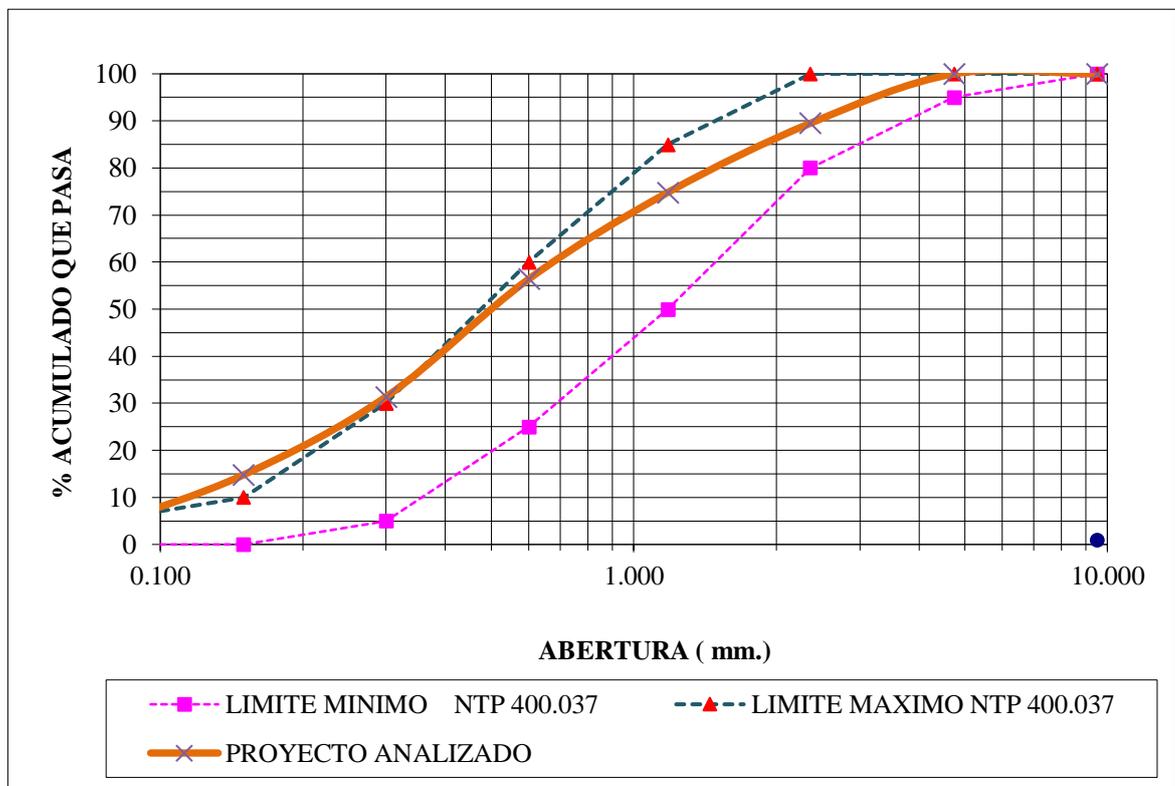
Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 24: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - Muestra N°02

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido Parcial	% Peso Retenido Acumulado	% Que Pasa
N°3/8"	9.500	0	0.0	0	100.0
N°4	4.750	0	0.0	0	100.0
N°8	2.360	130	10.5	10.5	89.5
N°16	1.180	182	14.7	25.2	74.8
N°30	0.600	227	18.4	43.6	56.4
N°50	0.300	310	25.1	68.6	31.4
N°100	0.150	205	16.6	85.2	14.8
N°200	0.075	138	11.2	96.4	3.6
Fondo	-	45	3.6	100.0	0.0
<b>PESO RETENIDO (g) =</b>		<b>1237</b>	<b>100.0</b>	<b>MF= 2.33</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 10: Curva granulométrica del A.F. - Muestra N°02



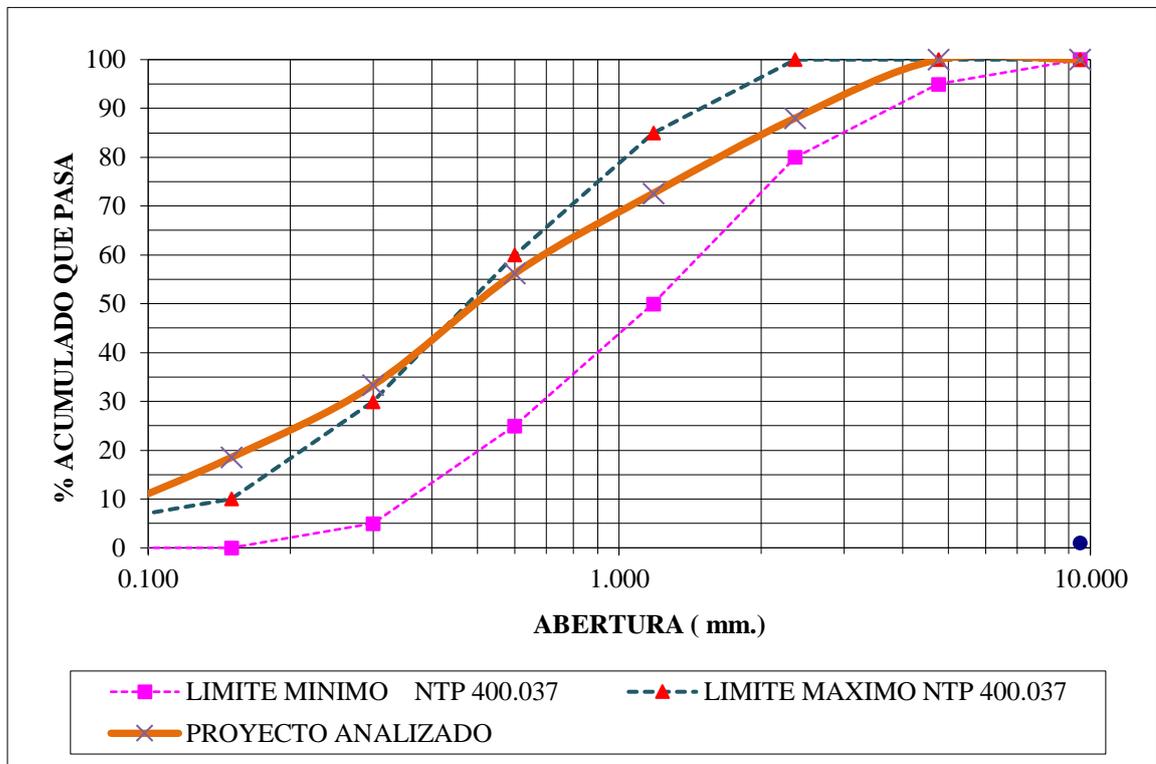
Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 25: Resultados del ensayo granulométrico del agregado fino - Muestra N°03

TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido Parcial	% Peso Retenido Acumulado	% Que Pasa
N°3/8"	9.500	0	0.0	0	100.0
N°4	4.750	0	0.0	0	100.0
N°8	2.360	149	12.0	12.0	88.0
N°16	1.180	191	15.4	27.4	72.6
N°30	0.600	203	16.4	43.8	56.2
N°50	0.300	285	23.0	66.7	33.3
N°100	0.150	184	14.8	81.5	18.5
N°200	0.075	154	12.4	94.0	6.0
Fondo	-	75	6.0	100.0	0.0
<b>PESO RETENIDO (g) =</b>		<b>1241</b>	<b>100.0</b>	<b>MF= 2.31</b>	

Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 11: Curva granulométrica del A.F. - Muestra N°03



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.1.2. Análisis granulométrico del agregado grueso según la norma NTP 400.012:2013

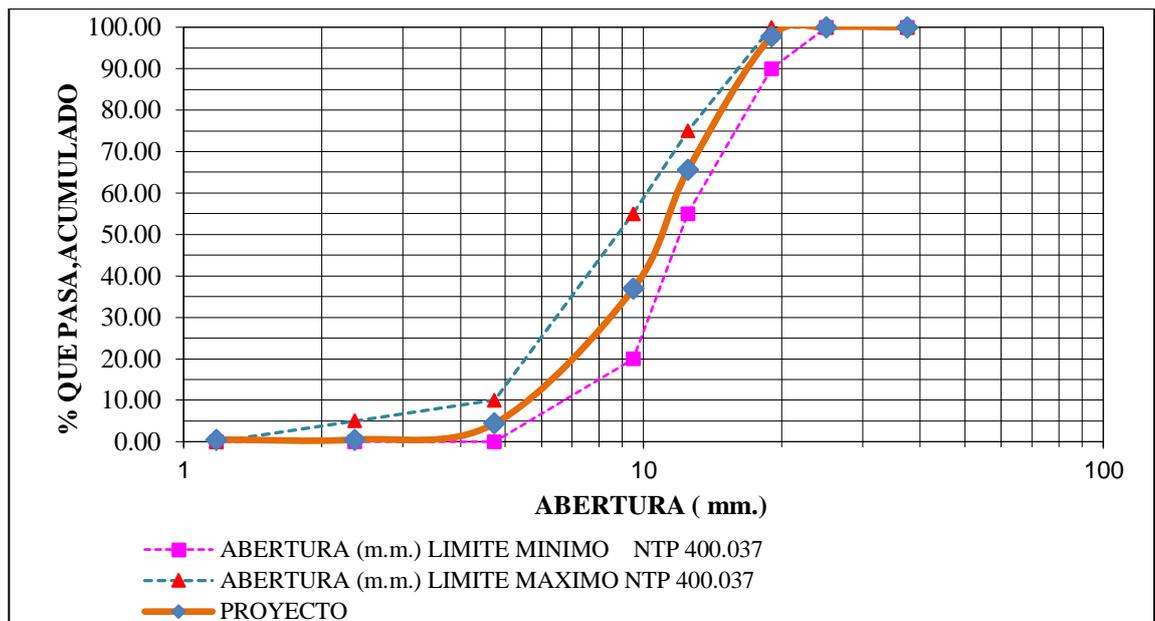
Según la norma se llevó a cabo tres veces dicho ensayo para la confiabilidad de los resultados. Se determinó que cumplen con las características (ver Tabla 26) y los límites Huso 67 según recomienda la norma NTP 400.037 (ver Tabla 11).

Tabla 26: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - Muestra N°01

TAMIZ	Abertura	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido Parcial	% Peso Retenido Acumulado	% Que Pasa
N° 1 1/2"	37.5	0	0.0		100.0
N° 1"	25	0	0.0	0.0	100.0
N°3/4"	19	123	2.2	2.2	97.8
N°1/2"	12.5	1776	32.2	34.4	65.6
N°3/8"	9.5	1580	28.6	63.1	36.9
N°4	4.75	1792	32.5	95.6	4.4
N°8	2.36	217	3.9	99.5	0.5
N°16	1.18	0	0.0	99.5	0.5
Fondo	-	28	0.5	100.0	0.0
<b>PESO RETENIDO (g) =</b>		<b>5516</b>	<b>100.0</b>	<b>MF= 6.60</b>	<b>TMN=3/4"</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 12: Curva granulométrica del A.G. - Muestra N°01



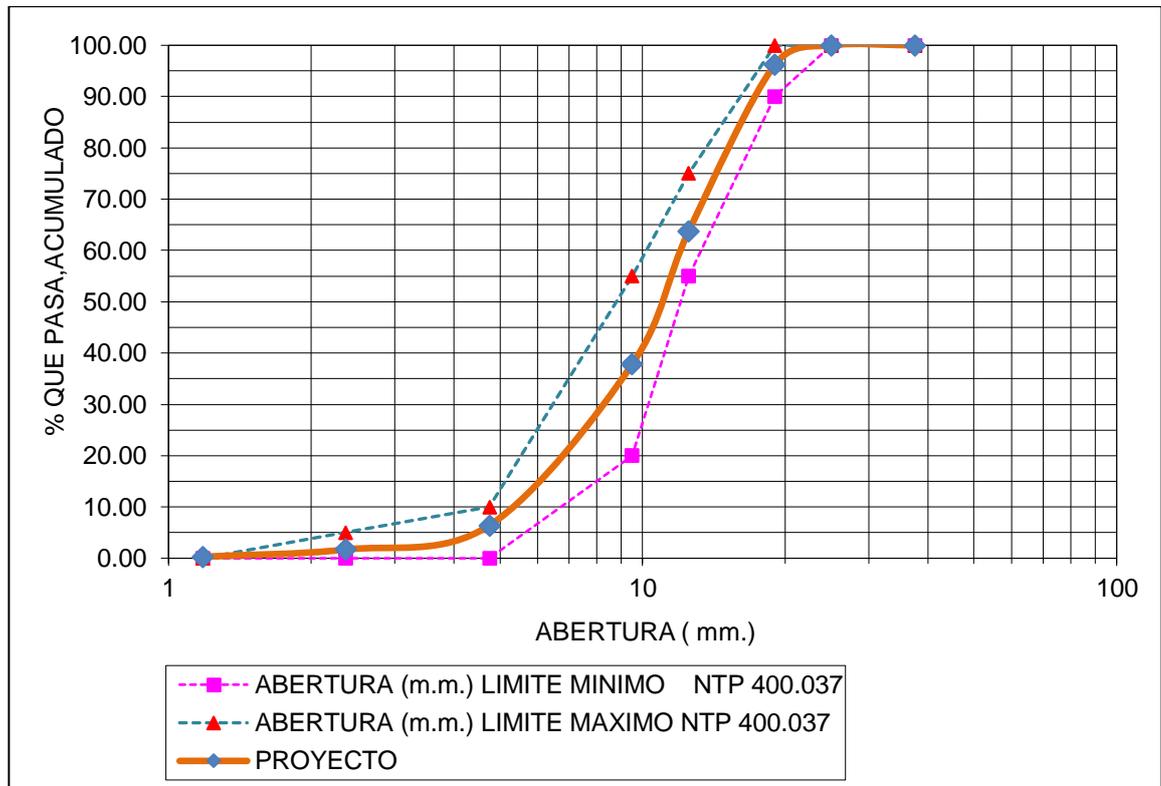
Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 27: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - Muestra N°02

TAMIZ	Abertura	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido Parcial	% Peso Retenido Acumulado	% Que Pasa
N° 1 1/2"	37.5	0	0.0	0.0	100.0
N° 1"	25	0	0.0	0.0	100.0
N°3/4"	19	210	3.8	3.8	96.2
N°1/2"	12.5	1802	32.5	36.3	63.7
N°3/8"	9.5	1435	25.9	62.2	37.8
N°4	4.75	1739	31.4	93.6	6.4
N°8	2.36	257	4.6	98.3	1.7
N°16	1.18	76	1.4	99.7	0.3
Fondo	-	19	0.3	100.0	0.0
<b>PESO RETENIDO (g) =</b>		<b>5538</b>	<b>100.0</b>	<b>MF= 6.58</b>	<b>TMN= 3/4"</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 13: Curva granulométrica del A.G. - Muestra N°02



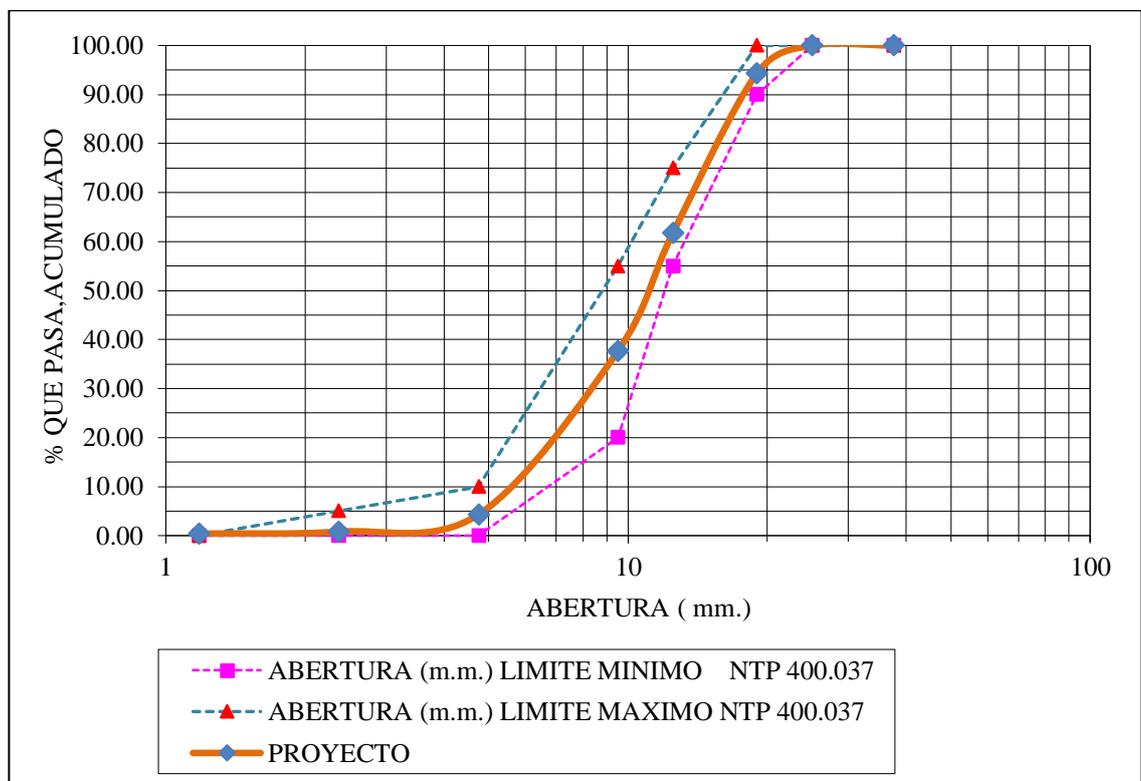
Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 28: Resultados del ensayo granulométrico del agregado grueso - Muestra N°03

TAMIZ	Abertura	Peso Retenido (gr)	% Peso Retenido Parcial	% Peso Retenido Acumulado	% Que Pasa
N° 1 1/2"	37.5	0	0.0	0.0	100.0
N° 1"	25	0	0.0	0.0	100.0
N°3/4"	19	312	5.7	5.7	94.3
N°1/2"	12.5	1803	32.7	38.3	61.7
N°3/8"	9.5	1325	24.0	62.4	37.6
N°4	4.75	1839	33.3	95.7	4.3
N°8	2.36	192	3.5	99.2	0.8
N°16	1.18	21	0.4	99.6	0.4
Fondo	-	24	0.4	100.0	0.0
<b>PESO RETENIDO (g) =</b>		<b>5516</b>	<b>100.0</b>	<b>MF= 6.62</b>	<b>TMN= 3/4"</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

Figura 14: Curva granulométrica del A.G.- Muestra N°03



Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.1.3. Peso unitario suelto y compactado de los agregados según la norma NTP

#### 400.017.2011

##### 3.1.3.1. Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino

En la Tabla 29 se pueden apreciar los resultados del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado fino, los cuales se realizaron 3 veces para obtener un resultado más confiable, el promedio de dichos ensayos nos dio como resultado 1644kg/m<sup>3</sup> para el peso unitario suelto y 1755 kg/m<sup>3</sup> para el peso unitario compactado.

*Tabla 29: Peso unitario suelto y compactado del agregado fino*

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso de recipiente	gr	6.859	6.859	6.859	
Peso recipiente + muestra suelta	gr	18.762	18.634	18.690	
Peso de muestra en estado suelto	gr	11.903	11.775	11.831	
Peso recipiente + muestra apisonada	gr	19.481	19.515	19.493	
Peso de muestra en estado compactado	gr	12.622	12.656	12.634	
Volumen del recipiente	gr	0.0072	0.0072	0.0072	
<b>Peso unitario suelto</b>	kg/m <sup>3</sup>	1653	1635	1643	<b>1644</b>
<b>Peso unitario compactado</b>	kg/m <sup>3</sup>	1753	1758	1755	<b>1755</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

##### 3.1.3.2. Ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

En la Tabla 30 se pueden apreciar los resultados del ensayo de peso unitario suelto y compactado del agregado grueso, los cuales se realizaron 3 veces para obtener un resultado más confiable, el promedio de dichos ensayos nos dio como resultado 1438kg/m<sup>3</sup> para el peso unitario suelto y 1563 kg/m<sup>3</sup> para el peso unitario compactado.

Tabla 30: Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso de recipiente	gr	6.859	6.859	6.859	
Peso recipiente + muestra suelta	gr	17.220	17.277	17.148	
Peso de muestra en estado suelto	gr	10.361	10.418	10.289	
Peso recipiente + muestra apisonada	gr	18.125	18.153	18.046	
Peso de muestra en estado compactado	gr	11.266	11.294	11.187	
Volumen del recipiente	gr	0.0072	0.0072	0.0072	
<b>Peso unitario suelto</b>	kg/m <sup>3</sup>	1439	1447	1429	<b>1438</b>
<b>Peso unitario compactado</b>	kg/m <sup>3</sup>	1565	1569	1554	<b>1563</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.1.4. Peso específico y absorción del agregado fino según la norma NTP

#### 400.022:2013

Según la norma se realizó tres veces este ensayo. Los resultados se muestran en la Tabla 31, en la cual se aprecia una absorción igual a 1.4% y un peso específico de 2640 kg/m<sup>3</sup>

Tabla 31: Peso específico y absorción del agregado fino

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso de la muestra secada en horno	gr	501.00	497.40	496.99	a
Peso del picnómetro lleno de agua	gr	668.00	668.00	668.00	b
Peso del picnómetro lleno de muestra y agua	gr	985.80	984.20	985.80	c
Peso de muestra en estado SSS	gr	506.80	505.60	505.94	d
<b>Peso específico (PeM)</b>	kg/m <sup>3</sup>	2651	2626	2642	<b>2640</b>
<b>Peso específico superficialmente seca (PeSS)</b>	kg/m <sup>3</sup>	2681	2669	2689	<b>2680</b>
<b>Peso específico aparente (PeA)</b>	kg/m <sup>3</sup>	2651	2626	2642	<b>2640</b>
<b>Absorción</b>	%	1.2	1.6	1.5	<b>1.4</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.1.5. Peso específico y absorción del agregado grueso según la norma NTP

#### 400.021:2013

Según la norma se realizó tres veces este ensayo. Los resultados se muestran en la Tabla 32, en la cual se aprecia una absorción igual a 0.9% y un peso específico de 2700 kg/m<sup>3</sup>

*Tabla 32: Peso específico y absorción del agregado grueso*

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso de la muestra secada en horno	gr	3019.40	3026.50	3023.10	
Peso de la muestra en estado SSS al aire	gr	3050.00	3051.30	3054.20	
Peso de la muestra sumergida en agua	gr	1929.20	1935.60	1932.40	
<b>Peso específico (PeM)</b>	kg/m <sup>3</sup>	2694	2713	2695	<b>2700</b>
<b>Peso específico superficialmente seca (PeSS)</b>	kg/m <sup>3</sup>	2721	2735	2723	<b>2726</b>
<b>Peso específico aparente (PeA)</b>	kg/m <sup>3</sup>	2770	2774	2772	<b>2772</b>
<b>Absorción</b>	%	1.0	0.8	0.9	<b>0.9</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.1.6. Contenido de humedad de los agregados según la norma NTP 339.185:2013

Según la norma se realizó tres veces este ensayo por cada tipo de agregado, por lo que el resultado promedio obtenido en el agregado fino es de 0.70% y del agregado grueso es de 0.50% (ver Tabla 33 y 34).

Tabla 33: Contenido de humedad del agregado fino

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente	gr	118	117	118.00	
Peso recipiente + muestra húmeda	gr	1118	1117	1118	
Peso recipiente + muestra seca	gr	1112	1109	1111	
Peso de muestra húmeda	gr	1000	1000	1000	
Peso de muestra seca	gr	994	992	993.00	
Peso de agua	gr	6	8	7	
<b>Contenido de humedad</b>	%	0.6	0.8	0.7	<b>0.7</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 34: Contenido de humedad del agregado grueso

Descripción	U.M.	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Promedio
Peso recipiente	gr	317	320	318	
Peso recipiente + muestra húmeda	gr	3317	3320	3318	
Peso recipiente + muestra seca	gr	3300	3308	3303	
Peso de muestra húmeda	gr	3000	3000	3000	
Peso de muestra seca	gr	2983	2988	2985	
Peso de agua	gr	17	12	15	
<b>Contenido de humedad</b>	%	0.6	0.4	0.5	<b>0.5</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.2. Diseño de mezcla según ACI 211

- **Agregados**

Las propiedades del agregado fino y grueso para la elaboración del diseño de mezcla se muestran en la Tabla 35.

*Tabla 35: Datos requeridos de los agregados para el diseño de mezcla*

<b>Agregados</b>	<b>Fino</b>	<b>Grueso</b>
Peso unitario suelto (kg/m <sup>3</sup> )	1644	1438
Peso unitario compactado (kg/m <sup>3</sup> )	1755	1563
Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	2640	2700
Módulo de fineza	2.32	6.6
TMN		3/4"
% Absorción	1.4	0.9
% Humedad	0.7	0.5

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- **F’c= 210 kg/cm<sup>2</sup>:** Se optó para una resistencia de diseño para un concreto estructural de 210kg/cm<sup>2</sup>.
- **Slump: 6”**  
Según el asentamiento optado y de acuerdo con el TMN del agregado grueso 3/4”, la cantidad de agua requerida es de **216 L/m<sup>3</sup>** y el contenido de aire atrapado es de **2%** según indica las Tablas 19 y 20 respectivamente.
- Según nos indica la Tabla 17, para una resistencia a compresión entre 210 kg/cm<sup>2</sup> y 350 kg/cm<sup>2</sup>, necesitamos sumarle 84 kg/cm<sup>2</sup> a la resistencia a la compresión optada para obtener la resistencia a compresión requerida para el diseño de mezcla, teniendo como resultado un **f’cr= 294 kg/cm<sup>2</sup>**.

- Se halló la relación agua/cemento interpolando los valores según la Tabla 18.

Interpolando:

$$\frac{250-294}{294-300} = \frac{0.62-x}{x-0.55} \quad x = 0.558$$

- La cantidad de cemento por m<sup>3</sup> se obtuvo al dividir la cantidad de agua requerida 216 L/m<sup>3</sup> entre la relación agua/cemento 0.558, dando como resultado una cantidad de cemento de **387 kg/m<sup>3</sup>**, lo que sería en bolsas de cemento un aproximado de 9 unidades.
- Saldo de volumen por completar con agregados:

*Tabla 36: Saldo de volumen por completar*

<b>Materiales</b>	<b>Peso Seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	387	0.1229
Ceniza Volante	0	0
Agua	216	0.2160
A.F	-	-
A.G.	-	-
Aire (%)	2.0	0.0200
Balance de Vol.	-	0.3589
<b>Saldo de Vol. por completar</b>	<b>1-Balanc.</b>	<b>0.6411</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- Según el TMN del agregado grueso ¾” y el módulo de finura del agregado fino 2.32, el volumen del agregado grueso es 0.66 m<sup>3</sup> (ver Tabla 21). Con este dato obtenemos la cantidad de agregado grueso necesaria para nuestro diseño de mezcla:

$$\text{Cantidad de A.G.} = PUSC \text{ del A.G} \times Vc$$

$$\text{Cantidad de A.G.} = 1563 \text{ kg/m}^3 \times 0.66 \text{ m}^3 = 1032 \text{ kg.}$$

- Cálculo del volumen absolutos del agregado grueso

$$V_{abs} = \frac{\text{Cantidad del material}}{\text{Peso específico del material}}$$

$$V_{abs. A.G} = \frac{1032}{2700} = 0.3822 \text{ m}^3$$

- Cálculo del volumen absoluto y cantidad del agregado fino

Para el cálculo del volumen absoluto del agregado fino, al saldo 0.6411 obtenido en la Tabla 36 le restamos el volumen absoluto del agregado grueso y para la cantidad de agregado fino multiplicamos dicho saldo por el peso específico de la arena.

$$V_{abs A.F} = 0.6411 - 0.3822 = 0.2589 \text{ m}^3$$

$$\text{Cantidad de A.F.} = 0.2589 \times 2640 = 683 \text{ kg}$$

Tabla 37: Resumen de los valores obtenidos

<b>Materiales</b>	<b>Peso seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	387	0.1229
Ceniza Volante	0	0
Agua	216	0.2160
Agregado fino	683	0.2589
Agregado grueso	1032	0.3822
Aire (%)	2	0.02
	2318	1

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- Se hizo la corrección por humedad de los agregados utilizando las fórmulas de la ecuación N° 24:

$$\text{Correc. Peso A.F.} = 683 \times (1 + 0.70/100) = 688 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Correc. Peso A.G.} = 1032 \times (1 + 0.50/100) = 1037 \text{ kg/m}^3$$

- Se calculó el aporte de agua necesaria para la mezcla, según la ecuación N° 25:

$$\text{Aporte Agua A.F.} = 683 \times (0.70 - 1.40) / 100 = -4.78$$

$$\text{Aporte Agua A.G.} = 1032 \times (0.50 - 0.90) / 100 = -4.13$$

$$\text{Agua efectiva} = 216 - (-4.78 - 4.13) = 225 \text{ L/m}^3$$

- Diseño de Mezcla Patrón

Tabla 38: Diseño de mezcla

Materiales	Peso Seco (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento	387	387
Ceniza volante	0	0
Agregado fino	683	688
Agregado grueso	1032	1037
Agua	216	225

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- Proporciónamiento en peso (kg) por bolsa de cemento

Tabla 39: Proporción de diseño por bolsa de cemento

Cemento	A.F.	A.G.	Agua
1	: 1.78	: 2.68	: 0.58

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.3. Diseño de mezcla del concreto con sustitución de cemento portland tipo I por ceniza volante

#### 3.3.1. Ceniza volante al 7%

Peso específico de la ceniza volante:  $2280 \text{ kg/m}^3$  (Tabla 16)

Para tener la proporción de un concreto con porcentajes de sustitución de ceniza volante por cemento se tuvo que realizar otro diseño de mezcla incluyendo la ceniza volante al 7%, 12%, 17% y 22% en sustitución al cemento portland.

- En primer lugar, se halló el 7% del peso total del cemento obtenido en el primer diseño de mezcla el cual fue  $387 \text{ kg/m}^3$ , el 7% sería  $27 \text{ kg/m}^3$  de peso de ceniza volante y debido a que es sustitución, la cantidad de cemento se reduciría a  $360 \text{ kg/m}^3$ .

Tabla 40: Saldo de volumen por completar (7% CV)

Materiales	Peso Seco ( $\text{kg/m}^3$ )	Volumen ( $\text{m}^3$ )
Cemento	360	0.1143
Ceniza Volante	27	0.0118
Agua	216	0.2160
Agregado fino	-	-
Agregado grueso	-	-
Aire (%)	2	0.02
Balance de Vol.	-	0.3621
<b>Saldo de Vol. por completar</b>	<b>1-Balanc.</b>	<b>0.6379</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

- En segundo lugar, ya con un nuevo saldo de volumen  $0.6379 \text{ m}^3$  por la inclusión de la ceniza volante y mantenerse el volumen absoluto del agregado grueso del primer diseño ( $0.3822 \text{ m}^3$ ) debido a que la sustitución de ceniza volante no afecta dicho valor, se procedió a recalcular el volumen absoluto del agregado fino:

$$V_{abs \text{ A.F.}} = 0.6379 - 0.3822 = 0.2557 \text{ m}^3$$

$$\text{Cantidad de A.F.} = 0.2557 \times 2640 = 675 \text{ kg}$$

Tabla 41: Resumen de valores obtenidos (7% CV)

<b>Materiales</b>	<b>Peso seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	360	0.1143
Ceniza Volante	27	0.0118
Agua	216	0.2160
Agregado fino	675	0.2557
Agregado grueso	1032	0.3822
Aire (%)	2	0.02
	2310	1.00

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- En tercer lugar, se procedió a hacer la corrección por humedad del agregado fino, ya que fue el único valor en cambiar por la sustitución de la ceniza volante.

$$\text{Correc. Peso A.F.} = 675 \times (1 + 0.70/100) = 680 \text{ kg/m}^3$$

- Finalmente, se calculó el aporte de agua necesaria para la mezcla, según la ecuación N° 25:

$$\text{Aporte Agua A.F.} = 675 \times (0.70 - 1.40) / 100 = -4.73$$

$$\text{Aporte Agua A.G.} = 1032 \times (0.50 - 0.90) / 100 = -4.13$$

$$\text{Agua efectiva} = 216 - (-4.73 - 4.13) = 225 \text{ L/m}^3$$

- Diseño de Mezcla al 7% de sustitución

*Tabla 42: Diseño de mezcla al 7% de CV*

<b>Materiales</b>	<b>Peso Seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Húmedo (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	360	360
Ceniza Volante	27	27
Agregado fino	675	680
Agregado grueso	1032	1037
Agua	216	225

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- Proporcionamiento en peso por bolsa de cemento

*Tabla 43: Proporción de diseño por bolsa de cemento con ceniza volante*

Cemento	Ceniza V.	A.F.	A.G.	Agua
1	0.075	1.89	2.88	0.63

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.3.2. Ceniza volante al 12 %

Se siguió el mismo procedimiento de sustitución al 7%, dando como resultado el siguiente diseño de mezcla para la sustitución al 12%:

*Tabla 44: Diseño de mezcla al 12% de CV*

<b>Materiales</b>	<b>Peso Seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Húmedo (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	341	341
Ceniza Volante	46	46
Agregado fino	669	674
Agregado grueso	1032	1037
Agua	216	225

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- Proporcionamiento en peso por bolsa de cemento

*Tabla 45: Proporción de diseño por bolsa de cemento con ceniza volante al 12%*

Cemento	Ceniza V.	A.F.	A.G.	Agua
1	0.135	1.98	3.04	0.66

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.3.3. Ceniza volante al 17 %

*Tabla 46: Diseño de mezcla al 17% de CV*

<b>Materiales</b>	<b>Peso Seco (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Peso Húmedo (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cemento	321	321
Ceniza Volante	66	66
Agregado fino	663	668
Agregado grueso	1032	1037
Agua	216	225

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- Proporciónamiento en peso por bolsa de cemento

*Tabla 47: Proporción de diseño por bolsa de cemento con ceniza volante al 17%*

Cemento	Ceniza V.	A.F.	A.G.	Agua
1	0.206	2.08	3.23	0.70

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.3.4. Ceniza volante al 22%

*Tabla 48: Diseño de mezcla al 22% de CV*

Materiales	Peso Seco (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Húmedo (kg/m <sup>3</sup> )
Cemento	302	302
Ceniza Volante	85	85
Agregado fino	656	661
Agregado grueso	1032	1037
Agua	216	225

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

- Proporciónamiento en peso por bolsa de cemento

*Tabla 49: Proporción de diseño por bolsa de cemento con ceniza volante al 22%*

Cemento	Ceniza V.	A.F.	A.G.	Agua
1	0.281	2.19	3.43	0.75

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.4. Ensayos al concreto en estado fresco

#### 3.4.1. Asentamiento del concreto según la norma NTP 339.035:2009

Se realizó el ensayo de asentamiento del concreto a todos los porcentajes de sustitución de ceniza volante por cemento portland tipo I. Los resultados se aprecian en la Tabla 50

*Tabla 50: Asentamiento del concreto*

Porcentaje de sustitución de ceniza volante	Muestra 1 (cm)	Muestra 2 (cm)	Muestra 3 (cm)	PROMEDIO (cm)
0%	12.00	12.00	12.00	<b>12.00</b>
7%	11.00	10.50	11.00	<b>11.00</b>
12%	9.00	9.00	9.00	<b>9.00</b>
17%	6.00	6.50	6.50	<b>6.50</b>
22%	4.00	4.00	4.00	<b>4.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

#### 3.4.2. Temperatura del concreto

Se controló la temperatura de las tres muestras y distintos porcentajes usados en el ensayo de asentamiento del concreto. Los resultados se aprecian en la siguiente Tabla 51.

*Tabla 51: Temperatura del concreto*

Porcentaje de sustitución de ceniza volante	Muestra 1 (cm)	Muestra 2 (cm)	Muestra 3 (cm)	PROMEDIO (cm)
0%	22.50	22.50	22.50	<b>22.50</b>
7%	22.50	22.50	22.50	<b>22.50</b>
12%	22.00	22.00	22.00	<b>22.00</b>
17%	23.00	23.00	23.00	<b>23.00</b>
22%	22.50	22.50	22.50	<b>22.50</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.4.3. Peso unitario del concreto

Se realizó el ensayo de peso unitario del concreto a todos los porcentajes de sustitución de ceniza volante por cemento portland tipo I. Los resultados se aprecian en las siguientes tablas.

Tabla 52: Peso unitario del concreto – Muestra N° 01

Porcentaje de sustitución de ceniza volante	PESO UNITARIO DEL CONCRETO (P.U.C.)				
	Peso Bruto (kg)	Tara Recip. (kg)	Peso Neto (kg)	Vol. Recip. (m3)	P.U.C. (kg/m3)
0%	24.281	6.861	17.420	0.0074	<b>2,354</b>
7%	24.241	6.861	17.380	0.0074	<b>2,349</b>
12%	24.217	6.861	17.356	0.0074	<b>2,345</b>
17%	24.162	6.861	17.301	0.0074	<b>2,338</b>
22%	24.040	6.861	17.179	0.0074	<b>2,321</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 53: Peso unitario del concreto - Muestra N° 02

Porcentaje de sustitución de ceniza volante	PESO UNITARIO DEL CONCRETO (P.U.C.)				
	Peso Bruto (kg)	Tara Recip (kg)	Peso Neto (kg)	Vol. Recip (m3)	P.U.C. (kg/m3)
0%	24.258	6.861	17.397	0.0074	<b>2,351</b>
7%	24.246	6.861	17.385	0.0074	<b>2,349</b>
12%	24.215	6.861	17.354	0.0074	<b>2,345</b>
17%	24.153	6.861	17.292	0.0074	<b>2,337</b>
22%	24.090	6.861	17.229	0.0074	<b>2,328</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 54: Peso unitario del concreto – Muestra N° 03

Porcentaje de sustitución de ceniza volante	PESO UNITARIO DEL CONCRETO (P.U.C.)				
	Peso Bruto (kg)	Tara Recip (kg)	Peso Neto (kg)	Vol. Recip (m3)	P.U.C. (kg/m3)
0%	24.265	6.861	17.404	0.0074	<b>2,352</b>
7%	24.237	6.861	17.376	0.0074	<b>2,348</b>
12%	24.207	6.861	17.346	0.0074	<b>2,344</b>
17%	24.143	6.861	17.282	0.0074	<b>2,335</b>
22%	24.060	6.861	17.179	0.0074	<b>2,324</b>

Fuente: Elaboración propia, 2020

### 3.5. Ensayos al concreto en estado endurecido

#### 3.5.1. Resistencia a compresión según la norma NTP 339.034:2015

Se realizó el ensayo de resistencia a compresión al concreto patrón y al concreto con sustitución de ceniza volante por cemento portland tipo I en los porcentajes de 7%, 12%, 17% y 22% y a tres diferentes edades 7, 28 y 56 días.

##### 3.5.1.1. Resistencia a compresión a los 7 días

*Tabla 55: Resistencia a compresión - Probeta patrón - 7 días*

Descripción	Testigo Patrón						
	TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	TP-5	TP-6	TP-7
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	15388	14902	14117	15006	14567	15544	14808
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	192.06	186.00	176.20	187.29	181.81	194.01	185
Tipo de falla	2	1	2	2	2	1	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>186</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

*Tabla 56: Resistencia a compresión al 7% de sustitución de CV - 7 días*

Descripción	Testigo al 7% de Sustitución de CV						
	T1-CV7	T2-CV7	T3-CV7	T4-CV7	T5-CV7	T6-CV7	T7-V7
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	19398	19603	18504	18230	19719	19028	18861
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	242	245	231	228	246	237	235
Tipo de falla	1	2	2	4	1	1	2
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>238</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

Tabla 57: Resistencia a compresión al 12% de sustitución de CV - 7 días

Descripción	Testigo al 12% de Sustitución de CV						
	T1-CV12	T2-CV12	T3-CV12	T4-CV12	T5-CV12	T6-CV12	T7-CV12
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	20505	21484	20636	21113	20844	20375	21737
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	256	268	258	264	260	254	271
Tipo de falla	1	1	5	2	1	2	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>262</b>						

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 58: Resistencia a compresión al 17% de sustitución de CV - 7 días

Descripción	Testigo al 17% de Sustitución de CV						
	T1-CV17	T2-CV17	T3-CV17	T4-CV17	T5-CV17	T6-CV17	T7-CV17
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	16434	15751	16307	16010	15938	16665	16142
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	205	197	204	200	199	208	201
Tipo de falla	1	2	1	2	2	1	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>202</b>						

Fuente: Elaboración propia, 2020

*Tabla 59: Resistencia a compresión al 22% de sustitución de CV - 7 días*

Descripción	Testigo al 22% de Sustitución de CV						
	T1- CV22	T2- CV22	T3- CV22	T4- CV22	T5- CV22	T6- CV22	T7- CV22
Edad (días)	7	7	7	7	7	7	7
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	15021	15282	14429	15577	14823	14596	15149
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	187	191	180	194	185	182	189
Tipo de falla	2	1	2	1	5	2	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>187</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.5.1.2. Resistencia a compresión a los 28 días

*Tabla 60: Resistencia a compresión – Probeta patrón - 28 días*

Descripción	Testigo Patrón						
	TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	TP-5	TP-6	TP-7
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	20467	20675	20358	21139	20220	20607	20963
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	255	258	254	264	252	257	262
Tipo de falla	1	1	2	4	2	1	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>257</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

*Tabla 61: Resistencia a compresión al 7% de sustitución de CV - 28 días*

<b>Descripción</b>	<b>Testigo al 7% de Sustitución de CV</b>						
	T1- CV7	T2- CV7	T3- CV7	T4- CV7	T5- CV7	T6- CV7	T7- CV7
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	26882	26014	26453	27045	26244	25890	27256
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	336	325	330	338	328	323	340
Tipo de falla	2	2	1	1	4	2	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>331</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

*Tabla 62: Resistencia a compresión al 12% de sustitución de CV - 28 días*

<b>Descripción</b>	<b>Testigo al 12% de Sustitución de CV</b>						
	T1- CV12	T2- CV12	T3- CV12	T4- CV12	T5- CV12	T6- CV12	T7- CV12
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	25888	25502	26145	24983	25265	24534	25220
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	323	318	326	312	315	306	315
Tipo de falla	1	2	1	2	2	5	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>316</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

*Tabla 63: Resistencia a compresión al 17% de sustitución de CV - 28 días*

Descripción	Testigo al 17% de Sustitución de CV						
	T1- CV17	T2- CV17	T3- CV17	T4- CV17	T5- CV17	T6- CV17	T7- CV17
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	23293	24370	23526	23848	24195	23364	24422
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	291	304	294	298	302	292	305
Tipo de falla	2	1	2	2	1	2	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>298</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

*Tabla 64: Resistencia a compresión al 22% de sustitución de CV - 28 días*

Descripción	Testigo al 22% de Sustitución de CV						
	T1- CV22	T2- CV22	T3- CV22	T4- CV22	T5- CV22	T6- CV22	T7- CV22
Edad (días)	28	28	28	28	28	28	28
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	21528	20323	21666	21075	20994	20512	21387
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	269	254	270	263	262	256	267
Tipo de falla	1	4	1	2	2	2	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>263</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.5.1.3. Resistencia a compresión a los 56 días

Tabla 65: Resistencia a compresión - Probeta patrón - 56 días

Descripción	Testigo Patrón						
	TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	TP-5	TP-6	TP-7
Edad (días)	56	56	56	56	56	56	56
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	21827	22591	22348	23413	23578	23267	22944
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	272	282	279	292	294	290	286
Tipo de falla	2	1	1	2	2	1	2
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>285</b>						

Fuente: Elaboración propia, 2020

Tabla 66: Resistencia a compresión al 7% de sustitución de CV - 56 días

Descripción	Testigo al 7% de Sustitución de CV						
	T1-CV7	T2-CV7	T3-CV7	T4-CV7	T5-CV7	T6-CV7	T7-CV7
Edad (días)	56	56	56	56	56	56	56
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	32016	28890	31277	29908	31171	32768	31362
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	400	361	390	373	389	409	391
Tipo de falla	1	1	2	2	1	2	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>388</b>						

Fuente: Elaboración propia, 2020

*Tabla 67: Resistencia a compresión al 12% de sustitución de CV - 56 días*

<b>Descripción</b>	<b>Testigo al 12% de Sustitución de CV</b>						
	T1- CV12	T2- CV12	T3- CV12	T4- CV12	T5- CV12	T6- CV12	T7- CV12
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	29667	30521	30839	31459	29808	30098	30301
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	370	381	385	393	372	376	378
Tipo de falla	1	2	1	1	2	1	4
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>379</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

*Tabla 68: Resistencia a compresión al 17% de sustitución de CV - 56 días*

<b>Descripción</b>	<b>Testigo al 17% de Sustitución de CV</b>						
	T1- CV17	T2- CV17	T3- CV17	T4- CV17	T5- CV17	T6- CV17	T7- CV17
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	27036	26101	26328	26809	25942	27557	26728
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	337	326	329	335	324	344	334
Tipo de falla	1	4	2	1	2	2	1
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>333</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

*Tabla 69: Resistencia a compresión al 22% de sustitución de CV - 56 días*

<b>Descripción</b>	<b>Testigo al 22% de Sustitución de CV</b>						
	T1- CV22	T2- CV22	T3- CV22	T4- CV22	T5- CV22	T6- CV22	T7- CV22
Diámetro (cm)	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1
Área (cm <sup>2</sup> )	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12	80.12
Carga Máxima (kg)	22867	23710	22368	23098	23430	24152	23655
Resistencia a compresión (kg/cm <sup>2</sup> )	285	296	279	288	292	301	295
Tipo de falla	2	1	1	2	2	1	2
<b>Resistencia Promedio (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>291</b>						

**Fuente:** Elaboración propia, 2020

### 3.6. Análisis de costos

#### 3.6.1. Costo de elaboración para cada diseño de mezcla.

*Tabla 70 Costo de diseño de mezcla convencional  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$*

<b>DISEÑO DE MEZCLA CONVENCIONAL <math>f'c=210 \text{ kg/cm}^2</math></b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P.U. (S/.)</b>	<b>PARCIAL (S/.)</b>
<b>Cemento</b>	bls	9.11	23.00	209.53
<b>Arena</b>	m3	0.415	20.00	8.3
<b>Piedra</b>	m3	0.718	50.00	35.9
<b>Agua</b>	m3	0.225	10.00	2.25
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>255.98</b>

**Fuente:** Elaboración propia,2020

*Tabla 71 Costo de diseño de mezcla con sustitución por ceniza volante al 7%*

<b>DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA VOLANTE AL 7%</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P.U. (S/.)</b>	<b>PARCIAL (S/.)</b>
<b>Cemento</b>	bls	8.47	23.00	194.81
<b>Ceniza</b>	kg	27.00	0.00	0.00
<b>Arena</b>	m3	0.411	20.00	8.22
<b>Piedra</b>	m3	0.718	50.00	35.9
<b>Agua</b>	m3	0.225	10.00	2.25
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>241.18</b>

**Fuente:** Elaboración propia,2020

*Tabla 72 Costo de diseño de mezcla con sustitución por ceniza volante al 12%*

<b>DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA VOLANTE AL 12%</b>				
<b>MATERIAL</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>P.U. (S/.)</b>	<b>PARCIAL (S/.)</b>
<b>Cemento</b>	bls	8.02	23.00	184.46
<b>Ceniza</b>	kg	46.00	0.00	0.00
<b>Arena</b>	m3	0.407	20.00	8.14
<b>Piedra</b>	m3	0.718	50.00	35.9
<b>Agua</b>	m3	0.225	10.00	2.25
<b>TOTAL (S/.)</b>				<b>230.75</b>

**Fuente:** Elaboración propia,2020

Tabla 73 Costo de diseño de mezcla con sustitución por ceniza volante al 17%

<b>DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA VOLANTE AL 17%</b>				
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
Cemento	bls	7.55	23.00	173.65
Ceniza	kg	66.00	0.00	0.00
Arena	m3	0.403	20.00	8.06
Piedra	m3	0.718	50.00	35.9
Agua	m3	0.225	10.00	2.25
			TOTAL (S/.)	219.86

Fuente: Elaboración propia,2020

Tabla 74 Costo de diseño de mezcla con sustitución por ceniza volante al 22%

<b>DISEÑO DE MEZCLA CON CENIZA VOLANTE AL 22%</b>				
MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (S/.)	PARCIAL (S/.)
Cemento	bls	7.11	23.00	163.53
Ceniza	kg	85.00	0.00	0.00
Arena	m3	0.399	20.00	7.98
Piedra	m3	0.718	50.00	35.9
Agua	m3	0.225	10.00	2.25
			TOTAL (S/.)	209.66

Fuente: Elaboración propia,2020

### 3.6.2. Análisis comparativo de costo - beneficio

Tabla 75 Análisis Comparativo de Costo - Beneficio

DISEÑO	f'c (Kg/cm2) 28 días	f'c (Kg/cm2) 56 días	Costo (S/.)
Diseño de mezcla patrón	257	285	255.98
Diseño con ceniza volante al 7%	331	388	241.18
Diseño con ceniza volante al 12%	316	379	230.75
Diseño con ceniza volante al 17%	298	333	219.86
Diseño con ceniza volante al 22 %	263	291	209.66

Fuente: Elaboración propia,2020

### 3.6.3. Costo sol por resistencia a la compresión

*Tabla 76 Análisis de Costo Sol por Resistencia a la Compresión*

DISEÑO	f'c (Kg/cm <sup>2</sup> ) 56 días	Costo (S/.)	Costo (S/.) / (kg/cm <sup>2</sup> )
Diseño de mezcla patrón	285	255.98	0.90
Diseño con ceniza volante al 7%	388	241.18	0.62
Diseño con ceniza volante al 12%	379	230.75	0.61
Diseño con ceniza volante al 17%	333	219.86	0.66
Diseño con ceniza volante al 22 %	291	209.66	0.72

Fuente: Elaboración propia,2020

### 3.6.4. Costo y ahorro porcentual frente al diseño de mezcla patrón

*Tabla 77 Costo y Ahorro porcentual comparativo al diseño de mezcla convencional*

DISEÑO	Costo (S/.)	Costo Porcentual	Ahorro Porcentual
Diseño de mezcla patrón	255.98	100.00%	0.00%
Diseño con ceniza volante al 7%	241.18	94.22%	5.78%
Diseño con ceniza volante al 12%	230.75	90.14%	9.86%
Diseño con ceniza volante al 17%	219.86	85.89%	14.11%
Diseño con ceniza volante al 22 %	209.66	81.90%	18.10%

Fuente: Elaboración propia,2020

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

#### 4.1.1. Caracterización de los agregados

El análisis granulométrico de los agregados debe cumplir ciertos parámetros estipulados en la Norma Técnica Peruana (NTP) para que estos sean aptos en la elaboración del diseño de mezcla y por ende resulte en un buen concreto.

Los requisitos estipulados en la NTP 400.037, indican que para el agregado fino el módulo de finura no será menor que 2.3 ni mayor de 3.1. En esta investigación se obtuvo un módulo de finura de 2.32, lo cual está dentro del rango estipulado en la norma. Dicha norma también nos indica los límites mínimos y máximos (ver Tabla 10) del porcentaje pasante que deben tener cada tamiz, en las Tablas 23, 24 y 25, se pueden apreciar que solo en los tamices N°50 y N°100 no cumplen los límites especificados en la norma.

Respecto al análisis granulométrico del agregado grueso podemos apreciar en las Figuras 12, 13 y 14, que las curvas granulométricas de los porcentajes pasantes de cada tamiz están en los límites Huso 67 especificados en la NTP 400.037 y descritos en la Tabla 11. También obtuvimos un TMN de 3/4" y un módulo de finura de 6.60.

En el ensayo de peso unitario seco suelto del agregado fino se obtuvo un valor promedio de 1644 kg/m<sup>3</sup> y en el ensayo de peso unitario seco compactado 1755 kg/m<sup>3</sup>. Por otro lado, el agregado grueso presenta un peso unitario seco suelto de 1438 kg/m<sup>3</sup> y un peso unitario seco compactado de 1563 kg/m<sup>3</sup>. (Pasquel, 1993) Recomienda que el peso unitario para agregados normales debe oscilar entre 1500 y 1700 kg/m<sup>3</sup> para obtener resultados óptimos a la hora de ser empleados en los

métodos de diseños de mezcla, por lo que nuestros resultados cumplen con dichos rangos descritos a excepción del peso unitario compactado del agregado fino.

En el ensayo de peso específico del agregado fino se obtuvo un valor promedio de 2640 kg/m<sup>3</sup> y para el agregado grueso 2700 kg/m<sup>3</sup>, dichos valores oscilan entre los recomendados por (Pasquel, 1993) que afirma que para agregados normales el peso específico debe estar en el rango de 2500 kg/m<sup>3</sup> y 2750 kg/m<sup>3</sup> para así este sea considerado un material de buena calidad y pueda tener un mejor comportamiento en el diseño de mezcla.

El contenido de humedad y absorción de los agregados, son de suma importancia cuando se elabora el diseño de mezcla debido a que se refleja en el concreto reduciendo o aumentando el agua de mezcla, por lo que es necesario siempre tenerlos en cuenta para hacer las correcciones necesarias. Siguiendo los pasos especificados en la NTP, obtuvimos un contenido de humedad de 0.70% para el agregado fino y para el agregado grueso 0.50%, respecto a la absorción se obtuvo 1.40% para el agregado fino y para el agregado grueso 0.90%, lo que indica que la absorción es mayor a la humedad por lo que se hará una corrección a la hora de elaborar el diseño de mezcla.

#### **4.1.2. Asentamiento del concreto**

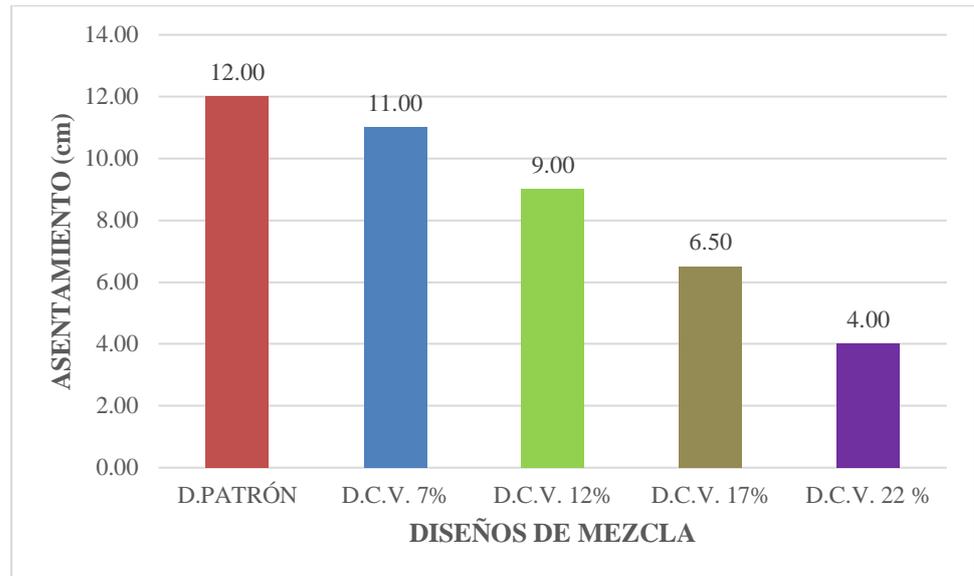
En el ensayo del asentamiento del concreto se siguieron los procedimientos especificados en la NTP 339.035. En la siguiente Figura 16 podemos ver que la muestra patrón obtuvo un asentamiento de 12cm, al 7% de sustitución hubo una disminución de 1cm respecto a la muestra patrón, al 12% se obtuvo un asentamiento de 9cm, al 17% se obtuvo un asentamiento de 6.5cm y al 22% un asentamiento de 4.0cm, siendo una reducción del 8%, 25%, 46% y 66% respectivamente para los diseños de mezcla con sustitución de ceniza frente a la

mezcla patrón; podemos notar que a medida que se iba incrementado el porcentaje de sustitución de ceniza volante por cemento portland el asentamiento del concreto iba disminuyendo; es decir, se iba haciendo menos trabajable, por lo que habría que aumentar la cantidad de agua o en otros casos usar algún aditivo.

Según el antecedente de (Siddique, 2004 citado por Mendoza, 2013) la sustitución de ceniza volante por cemento portland debería de aumentar la trabajabilidad del concreto debido a la forma esférica de las partículas de la ceniza volante las cuales reducen la fricción interna en el concreto fresco; por lo tanto, incrementa su capacidad de flujo. Además (Ravina & Mehta, 1986 citado por Siddique, 2004), recomienda que para sustituciones de ceniza volante por cemento portland del 35% al 50% se debería reducir el requerimiento total de agua del 5% al 7% para obtener el asentamiento designado en los diseños de mezclas.

Por otro lado (De la Cruz, 2015) en su estudio “Optimización del diseño de mezcla de concreto de alto desempeño para  $f'c$  550kg/cm<sup>2</sup>, utilizando cenizas de carbón y aditivos superplastificantes y retardantes de agua”, referente a los resultados de asentamiento, para el diseño de mezcla con 10% de sustitución obtuvo un asentamiento de 8” comparado con su diseño óptimo de 8 ½” resultando en una reducción del 6%. De la Cruz utilizó la ceniza volante procedente de la empresa Trupal S.A. obteniendo un comportamiento similar ya que de la misma manera a mayor uso de sustitución de ceniza volante el asentamiento iba disminuyendo, obteniendo un concreto menos trabajable llegando a obtener un asentamiento de hasta 5 ½” para un diseño de concreto con sustitución al 25%, tal como se aprecia en la Figura 7. Sin embargo, el uso de aditivos de su presente investigación pudo darle la consistencia deseada.

Figura 15: Asentamiento del concreto en estado fresco



Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 4.1.3. Temperatura del concreto

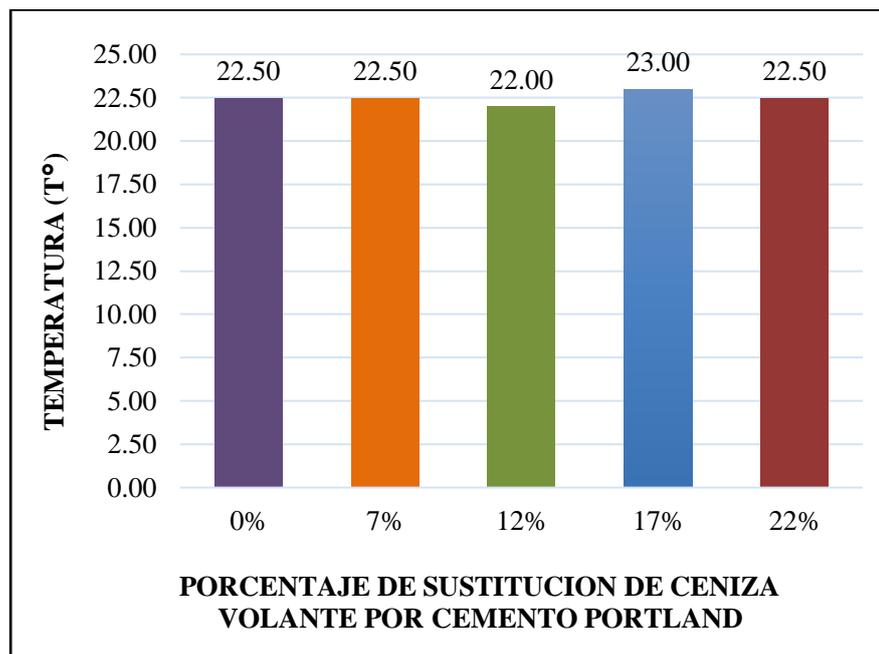
El control de temperatura del concreto es un parámetro de suma relevancia y que debe ser controlado, esto debido a que condiciona la velocidad con que se desarrolla el proceso de endurecimiento inicial del concreto. Sin el control de la temperatura, predecir su comportamiento es muy difícil. Un concreto que al inicio tenga una temperatura elevada, es muy probable que tenga una resistencia mucho mayor a lo normal a edades tempranas y menor de lo normal a edades tardías. Todo esto conllevaría a la calidad final del concreto, la cual es muy probable que se vea disminuida.

El concreto curado a temperaturas bajas desarrollara su resistencia a una tasa más lenta, pero al final llega a tener una resistencia más alta y es de mejor calidad. (De la Cruz, 2015)

En el ensayo del control de temperatura del concreto se siguieron los procedimientos especificados en la NTP 339.184. En la siguiente Figura 16

podemos ver una mínima variación en algunos porcentajes, la muestra patrón alcanza una temperatura inicial de 22.50° al igual que los porcentajes de sustituciones del 7% y 22%, respecto al 12% y 17% de sustituciones se obtuvo una temperatura de 22° y 23° respectivamente, generando una oscilación de temperatura de  $\pm 0.50^\circ$ .

Figura 16: Temperatura del concreto



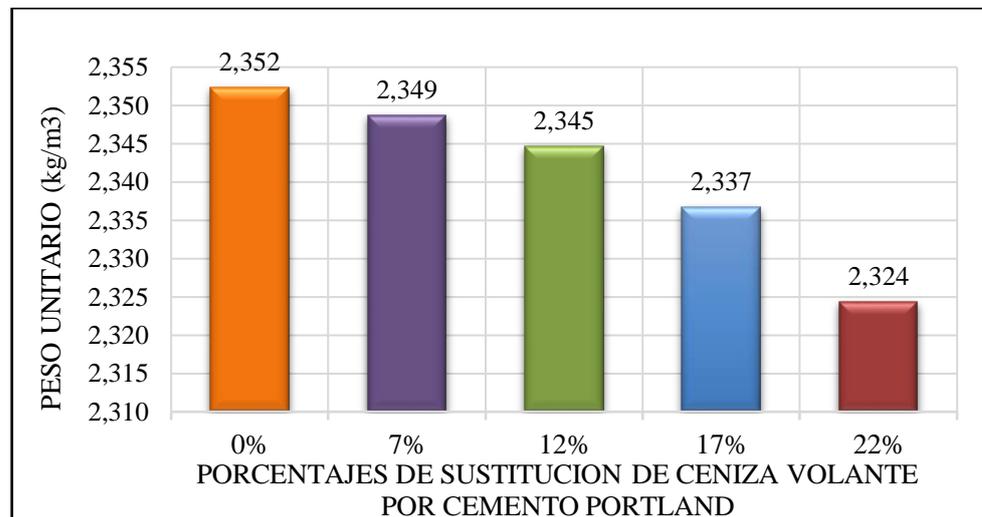
Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 4.1.4. Densidad del concreto en estado fresco

En el ensayo de peso unitario del concreto en estado fresco se siguieron los procedimientos especificados en la NTP 339.046. En la siguiente Figura 17, podemos ver que el peso unitario de la muestra patrón fue 2352 kg/m<sup>3</sup>, a las muestras con sustituciones de 7%, 12%, 17% y 22% hubo mínimas disminuciones de 0.16%, 0.33%, 0.67% y 1.19% respecto al valor de la muestra patrón. Al determinar que la sustitución de la ceniza volante hace mínimamente más ligero al concreto convencional, podemos afirmar lo mismo que (De la Cruz, 2015) En

su tesis “Optimización del diseño de mezcla de concreto de alto desempeño para  $f'c$  550kg/cm<sup>2</sup>, utilizando cenizas de carbón y aditivos superplastificantes y retardantes de agua”, donde concluye que el peso unitario del concreto se reduce directamente al incremento de los porcentajes de sustitución de ceniza volante por cemento, por lo que en una construcción reduciría la carga muerta. Las sustituciones experimentadas en dicha investigación fueron al 10%, 15%, 20% y 25% en la cual los pesos unitarios se redujeron en 0.53%, 2.38%, 3.44% y 4.06% respecto a la muestra patrón.

Figura 17: Peso Unitario del Concreto



**Fuente:** Elaboración propia, 2020

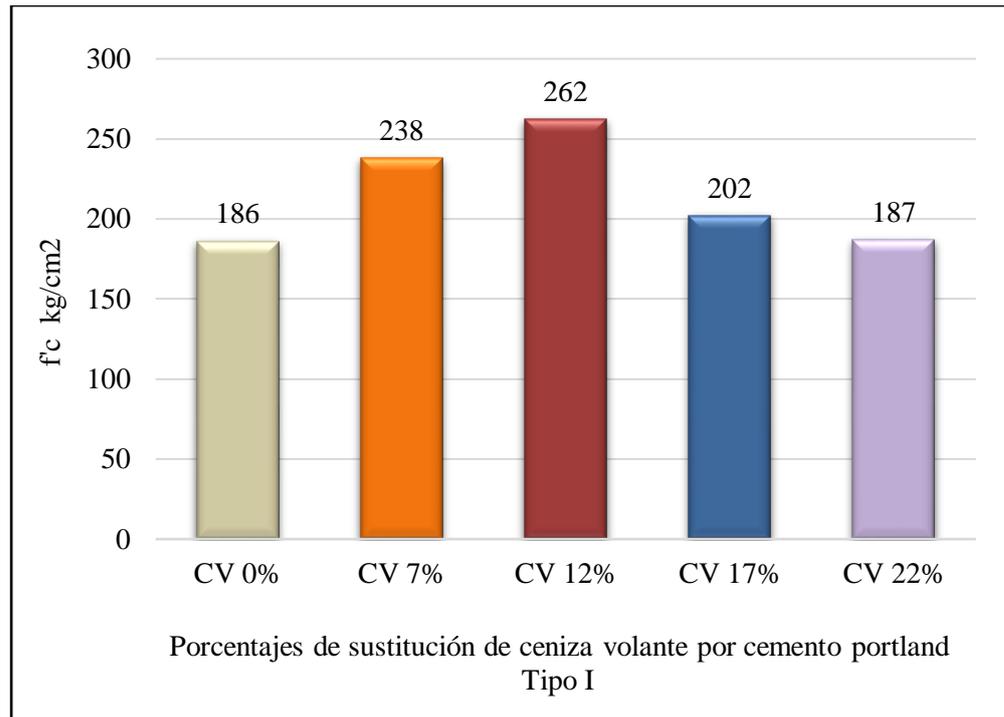
#### 4.1.5. Resistencia a compresión

En el ensayo de resistencia a compresión del concreto se siguieron los procedimientos especificados en la NTP 339.034. En la siguiente Figura 18, podemos ver la resistencia a compresión promedio de siete replicas a una edad evaluada de 7 días de curado, obteniendo para la probeta patrón una resistencia de 186 kg/cm<sup>2</sup>, para los porcentajes de sustitución de ceniza volante por cemento portland de 7%, 12%, 17% y 22% se observó un incremento de 56 kg/cm<sup>2</sup>, 76 kg/cm<sup>2</sup>, 16 kg/cm<sup>2</sup> y 1 kg/cm<sup>2</sup>, todo con respecto a la resistencia de la probeta

patrón. Como podemos notar en todos los casos hubo un incremento de resistencia en comparación a la probeta patrón, pero el porcentaje de 12% es donde la ceniza volante obtuvo un mejor desempeño, por lo que se puede decir que entre dicho porcentaje y al 7% estaría la sustitución óptima en la cual el concreto puede obtener la mayor resistencia, pero esto sin despreciar los otros porcentajes, debido a que en todos los casos superan a la muestra patrón y a medida que se aumente la sustitución de ceniza volante por ende se emplearía menos cantidad de cemento portland lo cual conllevaría a un mejor beneficio económico y con resistencias adecuadas.

(Agu171) En su tesis “Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de Termopaipa”, concluye que el porcentaje óptimo de sustitución de ceniza volante por cemento es al 10% debido a que estos resultados fueron los más semejantes a los valores obtenidos por la muestra sin sustitución y a partir del 20% se puede ver un notable decrecimiento en la resistencia. En nuestro caso nuestras resistencias a compresión con el 7% y 12% de sustitución son las que mejor desempeño tuvieron por lo que se puede afirmar lo mismo que (Agu171), por otro lado nuestros resultados hasta 22% de sustitución obtuvieron una resistencia mínimamente superior a la probeta patrón, por lo que podemos deducir que hasta este porcentaje se presentarían resistencias similares a los concretos convencionales, en comparación a (Agu171) que al 20% de sustitución sus resistencias ya tienen un decrecimiento notable.

*Figura 18: Resistencia a compresión promedio a los 7 días*



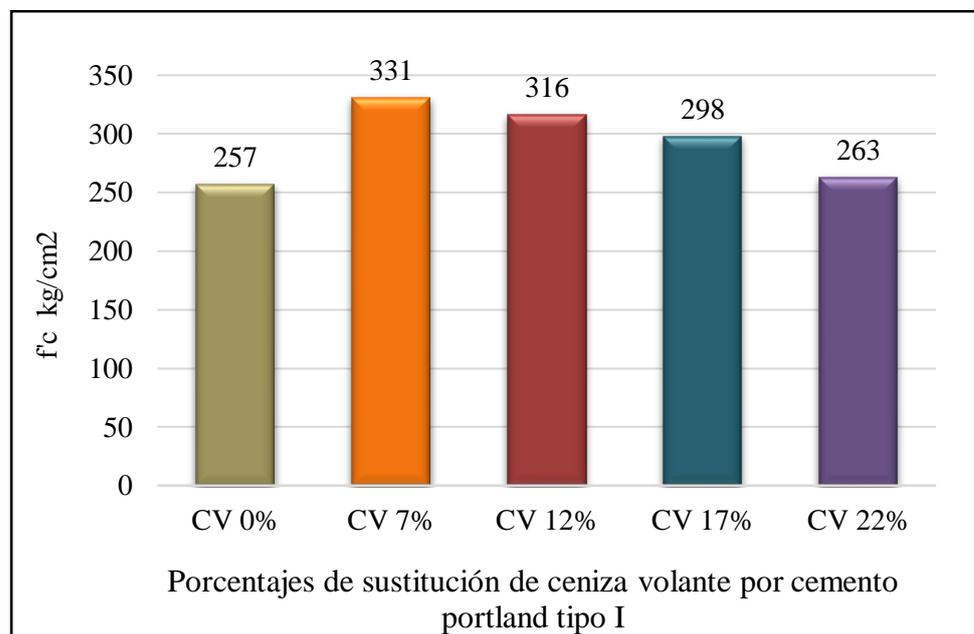
**Fuente:** Elaboración propia, 2020

En la siguiente Figura 19, podemos apreciar los resultados de resistencia a compresión a los 28 días de curado, la probeta patrón obtuvo otra vez la menor resistencia 257 kg/cm<sup>2</sup> en comparación a los demás porcentajes; al 7% de sustitución se obtuvo el pico más elevado de resistencia con 331 kg/cm<sup>2</sup> porcentualmente se incrementó un 28.79% respecto a la probeta patrón, en los porcentajes restantes 12%, 17% y 22% se obtuvieron incrementos porcentuales de 22.96%, 15.95% y 2.33% respecto al valor del concreto patrón. En comparación a la edad de 7 días la mayor resistencia es obtenida al 12% de sustitución, esto puede ser debido a que a mayor tiempo de curado el menor porcentaje de sustitución (7%) de ceniza volante presentó una mayor ganancia de resistencia a una tasa de curado lento, mientras que para una sustitución del 12% presentó altas resistencias iniciales lo que demuestra un comportamiento parabólico descendente a un tiempo de curado de 28 días entre estos dos rangos

de sustitución. A partir de la sustitución del 12% en adelante la gráfica muestra un comportamiento decreciente.

(De la Cruz, 2015) En su tesis “Optimización del diseño de mezcla de concreto de alto desempeño para  $f'c$  550kg/cm<sup>2</sup>, utilizando cenizas de carbón y aditivos superplastificantes y retardantes de agua” concluye que la mezcla con mejor desempeño se encuentra en un rango de 10% a 15% de sustitución a una edad de 28 días, en la cual al 10% de sustitución llega a incrementar su resistencia hasta un 2.53% respecto a la probeta patrón y al 15% se reduce mínimamente la resistencia un 0.84%. En nuestro caso el concreto tuvo un mejor desempeño al 7% y 12% por lo que no difieren mucho en comparación a los resultados mostrados por (De la Cruz, 2015).

Figura 19: Resistencia a compresión promedio a los 28 días



**Fuente:** Elaboración propia, 2020

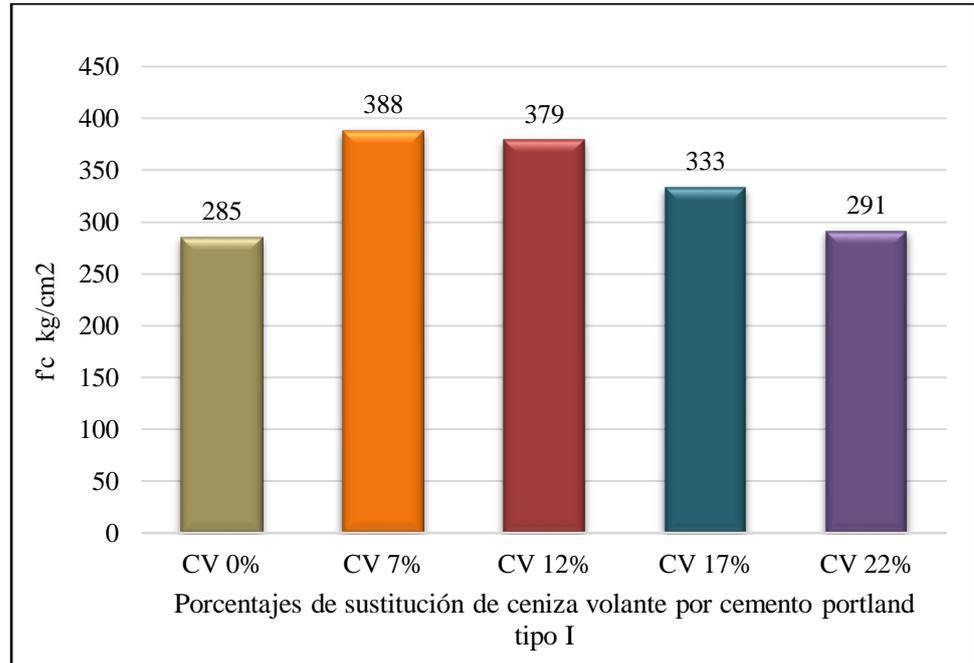
En la siguiente Figura 20, podemos apreciar los resultados de resistencia a compresión a los 56 días de curado, la probeta patrón siguió obteniendo la menor resistencia 285 kg/cm<sup>2</sup> en comparación a los demás porcentajes, al 7% de

sustitución otra vez se obtuvo la resistencia más elevada con 388 kg/cm<sup>2</sup> porcentualmente se incrementó 36.14% respecto a la probeta patrón, en los porcentajes restantes 12%, 17% y 22% se obtuvieron incrementos porcentuales de 32.98%, 16.84% y 2.11% respecto al valor del concreto patrón, porcentajes de incremento similares a la edad de 28 días. Confirmamos también que al 7% de sustitución la ceniza volante presenta el mejor desempeño en comparación a los demás porcentajes, como lo fue a la edad de 28 días. Se optó por evaluar la ceniza volante a la edad de 56 días debido a que según (Mendoza, 2013) la ceniza volante tiene una lenta reacción puzolánica a edades tempranas, por lo que a medida que pase el tiempo el concreto con ceniza volante va a obtener un incremento notorio en su resistencia a una velocidad menor en comparación al concreto convencional.

Asimismo, (Jawed & Skainy, 1981 citado por Mendoza, 2013) afirman que la ceniza volante clase F retarda la hidratación a una edad temprana del silicato tricálcico, lo que incrementa el tiempo de fraguado con el consecuente retardo en el desarrollo de la resistencia.

(Yazici & Arel, 2012) En su investigación “Effects of fly ash fineness on the mechanical properties of concrete” concluyen que la resistencia a una cierta edad y la velocidad con la que dicha resistencia es ganada se ve afectada por las características físicas y químicas de la ceniza volante, el tipo de cemento y las proporciones de cada uno de estos componentes utilizados en el concreto. Diferente es el caso de las cenizas volantes de clase “C” las cuales desarrollan un mayor grado de reactividad a edades tempranas en comparación con las cenizas volantes de clase “F”, aunque en los dos casos la actividad puzolánica aumenta proporcionalmente con el contenido de partículas de ceniza menores a la malla N° 325.

Figura 20: Resistencia a compresión promedio a los 56 días

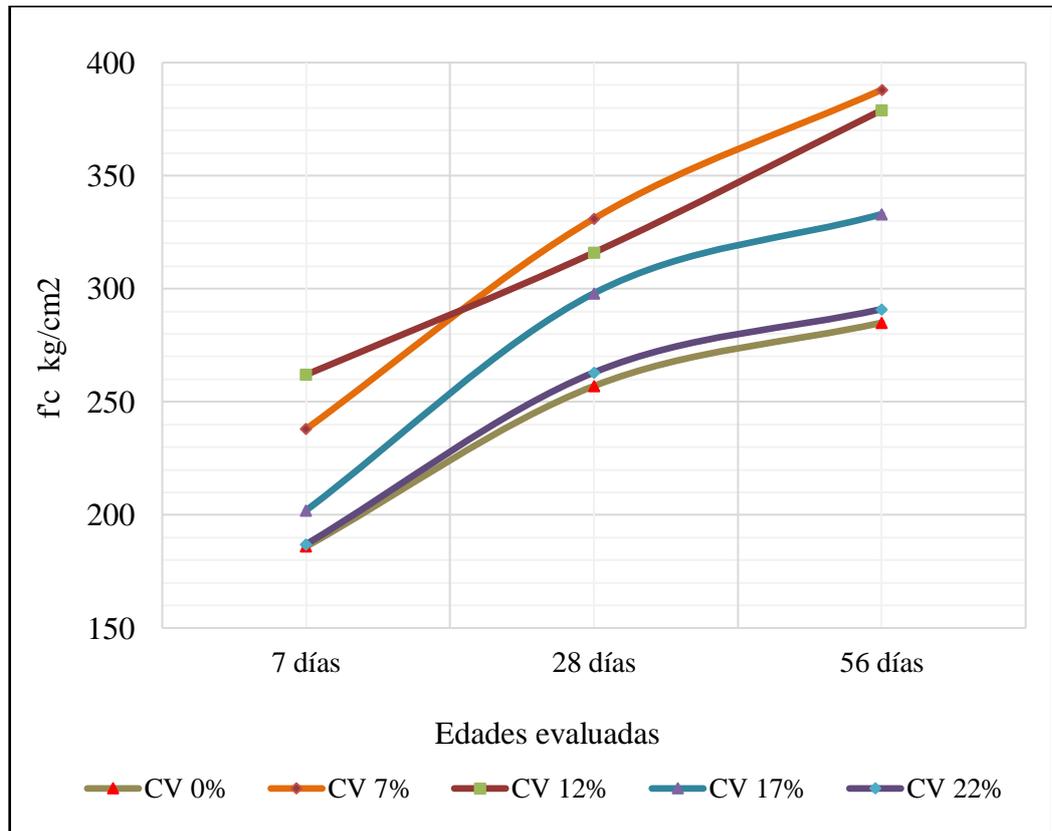


**Fuente:** Elaboración propia, 2020

En la siguiente Figura 21 podemos apreciar los resultados de resistencia a compresión promedio a las tres edades evaluadas 7, 28 y 56 días. Vemos que hay un claro aumento de resistencia a la edad de 56 días generándose un comportamiento parabólico en donde muestra claramente que a una sustitución menor de ceniza volante (7%) a edades tempranas de curado se presentan resistencias menores a comparación de la sustitución del 12% quien lo supera en un 10% en obtención de resistencia a un tiempo de curado de 7 días sin embargo la lenta reacción puzolánica a edades tempranas permite que la sustitución al 7% de ceniza sea superior a una edad de curado considerada (28 días), superando a la sustitución del 12% en un 4.7% sin embargo a 56 días ambas sustituciones muestran un incremento en la obtención de resistencia a la compresión en donde solo existe una variación entre estas sustituciones mencionadas del 2.3%. En todos los casos de sustitución de cemento portland Tipo I se muestra claramente

mayores resistencias a la compresión frente a la muestra patrón llegando a obtener ganancia de hasta un 36.14% para una sustitución de cemento por ceniza volante al 7%. El comportamiento de obtención de resistencia a la compresión entre la muestra patrón y la muestra con sustitución al 22% son muy similares llegando a superar a la muestra patrón en solo un 0.54% a una edad de curado de 7 días, 2.33% a 28 días y 2.11% a 56 días, siendo este el menor resultado de ganancia obtenido a lo largo de la presente investigación, sin embargo, en todos los casos de sustitución, se obtuvo ganancias en cuanto a los esfuerzos a compresión.

Figura 21: Resistencia a compresión promedio a las tres edades evaluadas



Fuente: Elaboración propia, 2020

#### 4.1.6. Análisis de Costo

En la Figura 22 podemos ver el costo de elaboración para cada diseño de mezcla estudiado en la presente investigación, se han tomado resultados a visualizar de esfuerzo a la compresión de 28 y 56 días, con la finalidad de obtener resistencias finales como referencia al costo – beneficio que representa su elaboración; en lo que respecta al costo, se observa una línea decreciente a mayor incremento de porcentaje de sustitución de cemento por ceniza volante en donde podremos determinar que en el diseño de mezcla con sustitución al 22% obtiene el menor costo de fabricación de mezcla siendo de 209.66 soles por metro cúbico; comparada con la mezcla del diseño patrón esto representa un 18.10% de ahorro (ver Figura 24) obteniendo una ganancia de resistencia a la compresión de 2.11 %, para un diseño de mezcla con sustitución de ceniza al 17% se obtiene un ahorro del 14.11%, un 9.86% de ahorro representa el diseño de mezcla con una sustitución al 12% y finalmente un 5.78% en un diseño de mezcla con un 7% de sustitución de ceniza por cemento portland tipo I tal como se aprecia en la Figura 24, sin embargo el diseño de mezcla con una sustitución al 7% obtuvo un 36.14% de ganancia final de resistencia a la compresión, siendo esta la mayor resistencia obtenida, lo que al ser dividido por su precio de fabricación se obtiene el costo sol por  $\text{kg}/\text{cm}^2$  de 0.62 soles por cada  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , casi de la misma manera sucede para el diseño de mezcla de 12% de sustitución quien al obtener una ganancia de resistencia a la compresión de un 32.98% con respecto a la mezcla patrón se obtiene un 0.61 soles por cada  $\text{Kg}/\text{cm}^2$  ; sin embargo para una mezcla de sustitución del 17% el valor de sol por cada  $\text{kg}/\text{cm}^2$  se ve aumentado ya que tan solamente este diseño obtiene una ganancia de 16.84% lo que aumenta el valor a 0.66 soles por  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , finalmente para el diseño de mezcla de 22% de sustitución

al obtener la ganancia de resistencia a la compresión más baja en comparación con el resto de diseño de mezcla el valor aumenta a 0.72 soles por cada  $\text{kg}/\text{cm}^2$  tal como se muestra en la Figura 23 al verse comparado el precio de fabricación versus el esfuerzo a la compresión obtenido para cada diseño de mezcla podemos determinar que la mezcla con sustitución por ceniza volante de 12% presenta el menor costo sol por  $\text{kg}/\text{cm}^2$ , seguido del diseño de sustitución de 7%, 17% y 22%, lo que representa el mejor costo – beneficio con respecto a la obtención de resistencia a la compresión por lo contrario si lo que se busca es no distar de los resultados del diseño de la mezcla patrón y en todo caso se requiere obtener un mayor ahorro económico la mezcla con sustitución al 22% es la mejor opción ya que su costo de fabricación representa un 18.10% de ahorro con respecto a la muestra patrón.

Figura 22 Análisis comparativo de Costo-Beneficio

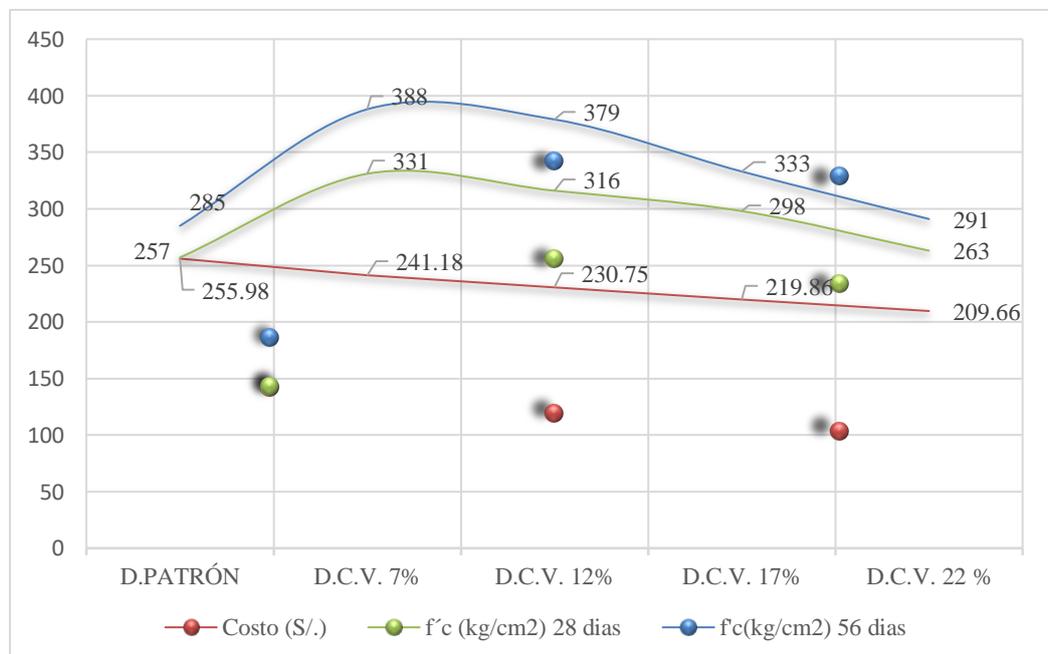


Figura 23 Costo S/. / kg/cm<sup>2</sup>

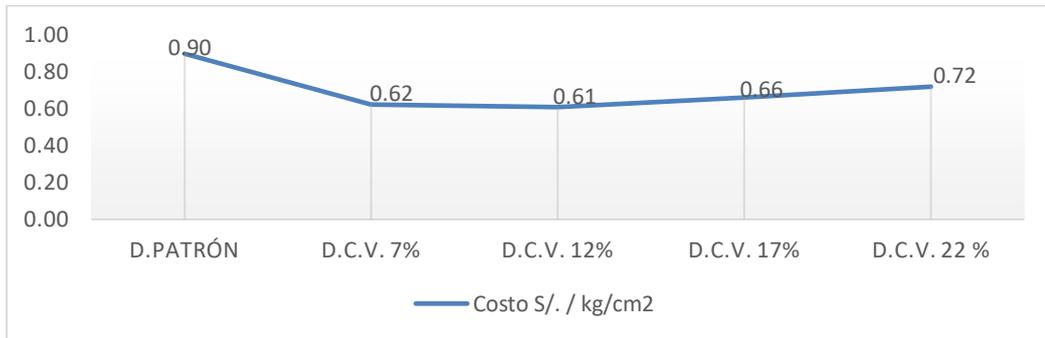
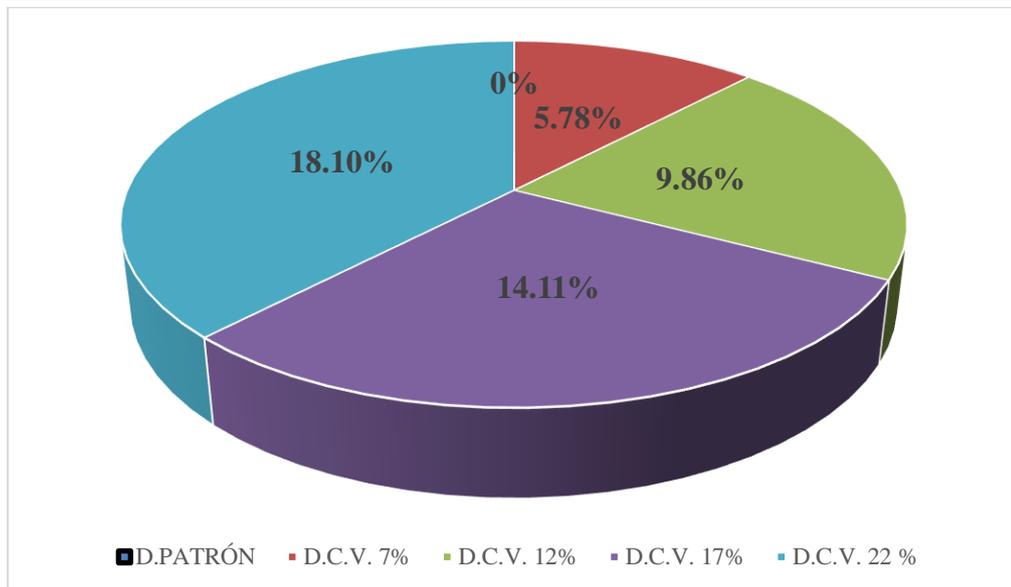


Figura 24 Determinación de ahorro porcentual en cada diseño de mezcla



#### 4.2. Limitaciones

- Inexistencia de normativa o guía en el Perú sobre la reutilización de ceniza volante como sustituto del cemento Portland tipo I.
- Por motivo de pandemia (COVID 19) fue una limitación clara la obtención de laboratorio para la elaboración de los ensayos.
- Falta de adecuada implementación de laboratorios en Trujillo para el estudio de características físicas y químicas de la ceniza volante.

### 4.3. Conclusiones

- Se determinó la influencia del porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland tipo I en el concreto. La ceniza volante al 7%, 12%, 17% y 22% influye de manera positiva en el concreto presentando resistencias a compresión superiores a las de un concreto sin sustitución llegando a ser el 7% el mejor porcentaje de sustitución, llegando a obtener una ganancia de hasta un 28.79% a los 28 días de curado y un 36.14% a 56 días de curado con respecto a la muestra patrón con un  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ; el concreto se va haciendo menos trabajable a medida que se incrementan los porcentajes de sustitución llegando a reducirse hasta un 66% el asentamiento para un concreto con sustitución al 22% de ceniza volante por cemento portland Tipo I con respecto a la muestra patrón, el cual llegó a 40mm de asentamiento, obteniéndose una consistencia semiplástica según la Tabla 22 y cumpliendo con el revenimiento mínimo de 25 mm recomendado para diversos tipos de construcción según el diseño ACI 211.1-91. El costo de elaboración es más económico, siendo el porcentaje de sustitución de 22% la mejor opción llegando a obtener hasta un 18.10% de ahorro económico con respecto al costo de la muestra patrón utilizándose un 21.9% menos de cemento; generando así un concreto resistente, económico y sustentable.
- Se caracterizó el agregado fino y grueso bajo los estándares de la NTP. El agregado fino, presentó un peso unitario suelto y compactado de 1644 kg/m<sup>3</sup> y 1755 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, un peso específico de 2640 kg/m<sup>3</sup>, un módulo de finura de 2.32, un porcentaje de absorción de 1,40 y un porcentaje de humedad de 0,70. Respecto al agregado grueso, presentó un peso unitario suelto y compactado de 1438 kg/m<sup>3</sup> y 1563 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, un peso específico de 2700 kg/m<sup>3</sup>,

un módulo de finura de 6.60, un porcentaje de absorción de 0,90 y un porcentaje de humedad de 0,50 y un tamaño máximo nominal de  $\frac{3}{4}$ ”.

- Se calculó el diseño de mezcla para un concreto convencional de 210 kg/cm<sup>2</sup>, además de cada uno de los porcentajes 7%, 12%, 17% y 22% de sustitución de ceniza volante por cemento portland tipo I de marca Qhuna, a partir del método ACI 211.
- Se elaboraron los 7 especímenes de concreto según la NTP 339.183, para cada uno de los porcentajes de sustitución 7%, 12%, 17% y 22% de ceniza volante por cemento portland, así como también para el concreto patrón.
- Se determinó el porcentaje más óptimo de sustitución de ceniza volante por cemento portland; para un 7% de sustitución incrementó 52 kg/cm<sup>2</sup>, para un 12% incrementó 76 kg/cm<sup>2</sup>, para un 17% incrementó 16 kg/cm<sup>2</sup> y para 22% incrementó 1 kg/cm<sup>2</sup>, todas con respecto a la muestra patrón a la edad de 7 días, para la edad de 28 y 56 días se muestra la misma tendencia, obteniendo resistencias más altas en los porcentajes de sustitución de 7% y 12%, debido a esto se concluye que el óptimo porcentaje de sustitución de ceniza volante por cemento portland se encuentran entre este rango llegando a obtener incrementos del 28.79% y 22.96% a 28 días, del 36.14% y 32.98% a 56 días de curado respectivamente.
- Se determinó el asentamiento según la NTP 339.035, el peso unitario del concreto en estado fresco según la NTP 339.046 y la temperatura del concreto según la NTP 339.184. En el concreto convencional se obtuvo un asentamiento de 12 cm, mientras que el concreto con los porcentajes de sustitución de cemento por ceniza volante al 7%, 12%, 17% y 22% se obtuvo un asentamiento de 11 cm, 9 cm, 6.50 cm y 4 cm respectivamente. Describiéndose la consistencia de la mezcla como

húmeda para un concreto convencional y para una sustitución al 7% de ceniza; consistencia plástica para una sustitución al 12% y 17% de ceniza volante y una consistencia semiseca para una sustitución al 22% de ceniza volante según la Tabla 14 viéndose afectada la trabajabilidad de la mezcla a mayor incremento de sustitución de cemento por ceniza volante. De acuerdo con el peso unitario, el concreto convencional tuvo un peso unitario de  $2352 \text{ kg/m}^3$ , mientras que el concreto con los porcentajes de sustitución al 7%, 12%, 17% y 22% se obtuvo un peso unitario de  $2349 \text{ kg/m}^3$ ,  $2345 \text{ kg/m}^3$ ,  $2337 \text{ kg/m}^3$  y  $2324 \text{ kg/m}^3$  respectivamente obteniendo un concreto de hasta un 1.19% más ligero para una sustitución del 22%. Mientras que la temperatura, en el concreto convencional, al 7% y 22% de sustitución obtuvo la misma temperatura de  $22.50^\circ\text{C}$ , al 12% se obtuvo  $22^\circ\text{C}$  y al 17%  $23^\circ\text{C}$ .

- Con respecto a la resistencia a compresión se evaluó bajo la NTP 339.034, en el concreto convencional se obtuvo una resistencia promedio a una edad de 7 días, de  $186 \text{ kg/cm}^2$ , mientras que el concreto con los porcentajes de sustitución de ceniza volante por cemento portland al 7%, 12%, 17% y 22% se obtuvo resistencias de  $238 \text{ kg/cm}^2$ ,  $262 \text{ kg/cm}^2$ ,  $202 \text{ kg/cm}^2$  y  $187 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, a una edad de 28 días se obtuvo una resistencia a compresión promedio de  $257 \text{ kg/cm}^2$ , al 7%, 12%, 17% y 22% de sustitución se obtuvo resistencias de  $331 \text{ kg/cm}^2$ ,  $316 \text{ kg/cm}^2$ ,  $298 \text{ kg/cm}^2$  y  $263 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, a una edad de 56 días se obtuvo una resistencia a compresión promedio de  $285 \text{ kg/cm}^2$ , al 7%, 12%, 17% y 22% de sustitución se obtuvo resistencias de  $388 \text{ kg/cm}^2$ ,  $379 \text{ kg/cm}^2$ ,  $333 \text{ kg/cm}^2$  y  $291 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.

- Se concluye que la ceniza volante es un sustituto ideal por cemento portland tipo I ya que se llega a obtener hasta un 18.1% de ahorro económico para un concreto con sustitución al 22% pero sin disminuir su resistencia a la compresión, por el contrario, se obtiene ganancia de hasta un 2.33% a un tiempo de curado de 28 días en donde se es sabido que el concreto llega a obtener el 100% de su desarrollo, sin embargo al 12% de sustitución se obtuvo la mejor relación costo sol por resistencia a la compresión ( $S/./kg/cm^2$ ) obteniéndose el valor más bajo siendo este de  $S/0.61$  y no quedando muy alejado el resultado para una sustitución al 7% llegando a obtener  $S/0.62$  por cada  $kg/cm^2$  estas relaciones se ven reducidas ya que el rango de sustitución entre el 7% y 12% obtienen los resultados más elevados de resistencia a la compresión en el presente estudio de investigación, siendo alternativas excelentes si se busca garantizar un concreto que supere tranquilamente un  $f^c = 280 kg/cm^2$ , siendo de cualquier manera se ha logrado obtener un concreto que cumple con la resistencia requerida para su diseño, siendo este más económico y ecológico.

## RECOMENDACIONES

- Es necesario seguir estudiando el comportamiento de la ceniza volante no solo en el concreto si no en la elaboración de pavimentos, ladrillos, adobes, adoquines, etc. Con la finalidad de promover la práctica de la reutilización de este material.
- Se recomienda a empresas constructoras realizar edificaciones utilizando la ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland tipo I para promover la práctica del uso de este material.
- Si bien es cierto la ceniza volante que se utilizó en el presente proyecto se adicionó de manera directa sin pasar por procesos de tamizado ni ensayos de laboratorio previos, se recomienda realizar una comparativa con un concreto elaborado con una ceniza estudiada en laboratorio.
- Es importante seguir promoviendo la investigación de productos que generen concretos más sustentables con la finalidad de reducir el uso de cemento debido a la alta contaminación que este provoca en su proceso de fabricación.
- Utilizar aditivos o diseños de mezclas con relaciones agua/cemento elevada para poder obtener la consistencia necesaria según los requerimientos del proyecto de construcción.
- Realizar investigaciones con la búsqueda del porcentaje más económico en la elaboración de concretos con sustitución de cemento portland por ceniza volante.

## REFERENCIAS

- ACI 116. (2002). *Terminología del cemento y del concreto*. México D.F.: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- ACI.211.1. (2014). *Práctica Estándar para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto de Peso Normal, Pesado y Masivo*.
- Agudelo, A. A., & Espinosa, B. G. (2017). *Análisis de la resistencia a la compresión de mezclas de concreto con adición de ceniza volante de termopaipa*. Bogotá.
- ASTM C618. (2012). *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*.
- ASTM.C39. (2014). *Método de Ensayo Normalizado para Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto*.
- ASTM618. (2012). *Standard specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*.
- Balcázar, A., & Castillo, L. Á. (2014). *Uso de Cenizas Volantes Provenientes de calderos de Lecho Fluidizado en Concretos Autocompactantes y su Influencia en la Resistencia a la Compresión*. Trujillo.
- BCRP. (Diciembre de 2019). *Informe de coyuntura y estadísticas*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2020, de <https://www.bcrp.gob.pe/docs/Sucursales/Trujillo/2019/sintesis-la-libertad-12-2019.pdf>
- Calleja, J. (1968). *Las Puzolanas*. ION, XXIX Y XXX.
- Cemento Nacional. (2019). Obtenido de Cemento Nacional tipo I: <http://www.cementonacional.com.pe/productos/cemento-nacional-tipo-i/>
- Cemex. (19 de Junio de 2019). Obtenido de Artículos de Construcción: <https://www.cemex.com.pe/-/hablando-de-cementos-portland#:~:text=El%20cemento%20portland%20es%20un,se%20le%20conoce%20como%20hidrataci%C3%B3n>.
- Chambergó, I. (2000). *Introducción a los costos empresariales*. Lima: IDE.
- Chávez, C. E. (2016). *Evaluación del porcentaje de desperdicios de materiales de construcción civil medicipon y método de control*. Tesis, Universidad Privada del Norte, Cajamarca, Cajamarca.
- Chuquizapon, K. D., & Ibañez, C. A. (2020). *Influencia de la densidad de las perlas de poliestireno sobre el costo, peso unitario, asentamiento, resistencia a compresión y flexión en un concreto ligero estructural para losas aligeradas*. Trujillo.
- Chuquizapon, K., & Christian, I. (2020). *INFLUENCIA DE LA DENSIDAD DE LAS PERLAS DE POLIESTIRENO SOBRE EL COSTO, PESO UNITARIO, ASENTAMIENTO, RESISTENCIA A COMPRESIÓN Y FLEXIÓN EN UN CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL PARA LOSAS ALIGERADAS, TRUJILLO 2020*. Tesis, Universidad Privada del Norte, Trujillo. Recuperado el 15 de Septiembre de 2020
- De la Cruz, F. A. (2015). *Optimización del diseño de mezcla de concreto de alto desempeño para f'c 550kg/cm<sup>2</sup>, utilizando cenizas de carbón y aditivos superplastificantes y retardantes de agua*. Arequipa.

- Hernandez, J. R. (2010). *Tecnología del concreto*. Bogotá: Asociación Colombiana de Productores de Concreto ASOCRETO.
- Imbabi, M. S., & Carrigan, C. (2013). *Trends and developments in green cement and concrete technology*. International Journal of Sustainable Built Environment.
- Jawed, L., & Skainy, J. (1981). *Hydration of tricalcium silicate in the presence of fly ash. Proceedings, Symposium N, Effects of Fly Ash Incorporation in Cement and Concrete*. Pittsburgh: Materials Research Society.
- Kiattikomol, Jaturapitakkul, & Songpiriyakij. (2011). *A Study of Ground Coarse Fly Ashes with Different Finenesses from Various Sources as Pozzolanic Materials*. Cement and Concrete Composites.
- Lam, L., Wong, Y. L., & Poon, C. S. (1998). *Effect of Fly Ash and Silica Fume on Comprehensive and Fracture Behaviors of Concrete*. Cement and Concrete.
- Lane, R. O., & Best, J. F. (1982). *Properties and use of fly ash in Portland cement concrete*. Concrete International: Design & construction.
- López, L. (2003). *El concreto y otros materiales para la construcción*. Manizales.
- Martínez, M. (20 de Marzo de 2017). VOLVER AL PASADO PARA ENFRENTAR EL FUTURO DURABILIDAD DE LOS CONCRETOS CON CENIZA VOLANTE. Mexico, Mexico, Mexico. Recuperado el 18 de Febrero de 2019, de <https://www.youtube.com/watch?v=likMboVM214>
- Martínez, M. (2018). *Youtube*. Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=likMboVM214>
- Mehta. (1991). *Durabilidad del concreto*.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (1998). *Concreto: Estructura, propiedades y materiales*. Mexico DF: Instituto Mexicano del cemento y del concreto.
- Mendoza, J. F. (2013). *Efecto de la ceniza volante tipo F y del hule reciclado de neumaticos en las propiedades mecánicas del concreto*.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). *Sitio web del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*. Recuperado el 07 de 05 de 2017, de Sitio web del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento: <http://www.vivienda.gob.pe/ministerio/mision-vision-y-valores>
- Molina, O. (2008). *Influencia de las propiedades del cemento en concretos con cenizas volantes*. Madrid.
- Naik, T. R., Kraus, R. N., Ramme, B. W., & Siddique, R. (2003). *Mechanical Properties and Durability of Concrete Pavements Containing High Volume of Fly Ash*. ACI Special Publication.
- O'Reilly, V. A. (2007). *Métodos para fosificar concretos de elevado desempeño*. Mexico DF: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Papadakis, V. (2009). *Effect of Fly Ash on Portland Cement systems Part I Low Calcium Fly Ash*. Patras: Cement and Concrete Research.
- Pasquel, E. C. (1993). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*.

- Philip, S. (2006). *Concrete Construction Chemicals*. Obtenido de <https://laticrete.com/solution-center/featured-solutions/concrete-construction-chemicals>
- Ramirez, A. J. (1990). *Origenes, tipos y caracterización de las cenizas volantes*. Madrid: Mopu CEDEX.
- Ravina, D., & Mehta, P. (1986). *Properties of fresh concrete containing large amounts of fly ash, cement and concrete*. 16.
- Rivva, E. (2013). *Diseño de mezclas (2da. ed.)*. Lima: Instituto de la construcción y general.
- Roa, O. (2016). *LAS MEZCLAS DE CONCRETO HIDRAULICO CON ADITIVOS INCLUSORES DE AIRE "CENIZAS VOLANTES"*. Bogota: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas.
- Roa, O. (2016). *Las mezclas de concreto hidráulico con aditivos inclusores de aire "Cenizas Volantes"*. Bogotá.
- Roy, W. R. (1981). *Coal Fly ASH: A reviwie of the literature and proposed classification system with emphasis on environmental impacts*. Champaign.
- Sanchez, d. (1997). *Tecnología del concreto y mortero*. Bogotá: BHANDAR EDITORES LTDA.
- Savasundaram, Carette, & Malhotra. (2001). *Mechanical Properties, Creep, and Resistance to Diffusion of Chloride Ions of Concretes Incorporating High Volumes of ASTM Class F Fly Ashes from Seven Different Sources*. Materials Journal.
- Siddique, R. (2004). *Performance characteristics of high-volume Class F fly ash concrete*.
- Wankhede, P. R., & Fulari, V. A. (2014). *Effect of Fly ASH on Properties of Concrete*.
- Yazici, S., & Arel, H. (2012). *Effects of fly ash fineness on the mechanical properties of concrete*. Indian Academy of Sciences.

## ANEXOS

### ANEXO N°1. Resultados de Resistencia a Compresión

#### ANEXO N°1.1. Resistencia a compresión a los 7 días – Probetas patrón



### INFORME DE ENSAYO N° 0285-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 08/06/2020

#### 1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO PATRON F'C = 210 KG/CM2

#### 2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

#### 3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
DP210-(1)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	15388	192	91%	2
DP210-(2)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	14902	186	89%	1
DP210-(3)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	14117	176	84%	2
DP210-(4)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	15006	187	89%	2
DP210-(5)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	14567	182	87%	2
DP210-(6)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	15544	194	92%	1
DP210-(7)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	14808	185	88%	1
Promedio								186	89%	

#### NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (F<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad.  
Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 25: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probeta patrón

ANEXO N°1.2. Resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 7% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0286-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 08/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (7%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV7-(1)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	19398	242	115%	1
D210CV7-(2)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	19603	245	117%	2
D210CV7-(3)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	18504	231	110%	2
D210CV7-(4)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	18230	228	109%	4
D210CV7-(5)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	19719	246	117%	1
D210CV7-(6)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	19028	237	113%	1
D210CV7-(7)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	18861	235	112%	2
Promedio								238	113%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 26: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 7% de sustitución

ANEXO N°1.3. Resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 12% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0287-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emision: 08/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

ID MUESTRA : CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (12%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificacion Testigo	f'c (kg/cm2)	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm2)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV12-(1)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	20505	256	122%	1
D210CV12-(2)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	21484	268	128%	1
D210CV12-(3)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	20636	258	123%	5
D210CV12-(4)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	21113	264	126%	2
D210CV12-(5)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	20844	260	124%	1
D210CV12-(6)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	20375	254	121%	2
D210CV12-(7)	210	01/06/2020	08/06/2020	7	10.1	80.12	21737	271	129%	1
Promedio								262	125%	

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 27: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 12% de sustitución

ANEXO N°1.4. Resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 17% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0288-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emision: 09/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (17%)

2. TIPO DE ENSAYO:

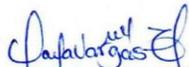
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificacion Testigo	f'c (kg/cm2)	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm2)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV17-(1)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	16434	205	98%	1
D210CV17-(2)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	15751	197	94%	2
D210CV17-(3)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	16307	204	97%	1
D210CV17-(4)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	16010	200	95%	2
D210CV17-(5)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	15938	199	95%	2
D210CV17-(6)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	16665	208	99%	1
D210CV17-(7)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	16142	201	96%	1
Promedio								202	96%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 28: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 17% de sustitución

ANEXO N°1.5. Resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 22% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0289-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 09/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (22%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV22-(1)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	15021	187	89%	2
D210CV22-(2)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	15282	191	91%	1
D210CV22-(3)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	14429	180	86%	2
D210CV22-(4)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	15577	194	92%	1
D210CV22-(5)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	14823	185	88%	5
D210CV22-(6)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	14596	182	87%	2
D210CV22-(7)	210	02/06/2020	09/06/2020	7	10.1	80.12	15149	189	90%	1
Promedio								187	89%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 29: Resultados de resistencia a compresión a los 7 días – Probetas al 22% de sustitución

ANEXO N°1.6. Resistencia a compresión a los 28 días – Probeta patrón



INFORME DE ENSAYO N° 0353-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 29/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO PATRON F'C = 210 KG/CM2

2. TIPO DE ENSAYO:

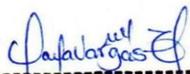
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
DP210-(8)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	20467	255	121%	1
DP210-(9)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	20675	258	123%	1
DP210-(10)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	20358	254	121%	2
DP210-(11)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	21139	264	126%	4
DP210-(12)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	20220	252	120%	2
DP210-(13)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	20607	257	122%	1
DP210-(14)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	20963	262	125%	1
Promedio								257	122%	

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 30: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probeta patrón

ANEXO N°1.7. Resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 7% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0354-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 29/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

ID MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (7%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm2)	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm2)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV7-(8)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	26882	336	160%	2
D210CV7-(9)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	26014	325	155%	2
D210CV7-(10)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	26453	330	157%	1
D210CV7-(11)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	27045	338	161%	1
D210CV7-(12)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	26244	328	156%	4
D210CV7-(13)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	25890	323	154%	2
D210CV7-(14)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	27256	340	162%	1
Promedio								331	158%	

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 31: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 7% de sustitución

ANEXO N°1.8. Resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 12% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0355-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 29/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

ID MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (12%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV12-(8)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	25888	323	154%	1
D210CV12-(9)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	25502	318	151%	2
D210CV12-(10)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	26145	326	155%	1
D210CV12-(11)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	24983	312	149%	2
D210CV12-(12)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	25265	315	150%	2
D210CV12-(13)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	24534	306	146%	5
D210CV12-(14)	210	01/06/2020	29/06/2020	28	10.1	80.12	25220	315	150%	1
Promedio								316	150%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 32: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 12% de sustitución

ANEXO N°1.9. Resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 17% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0362-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 30/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS

PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA

UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD

ID MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (17%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
(Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	Fc (kg/cm2)	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm2)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV17-(8)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	23293	291	139%	2
D210CV17-(9)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	24370	304	145%	1
D210CV17-(10)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	23526	294	140%	2
D210CV17-(11)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	23848	298	142%	2
D210CV17-(12)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	24195	302	144%	1
D210CV17-(13)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	23364	292	139%	2
D210CV17-(14)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	24422	305	145%	1
Promedio								298	142%	

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (fc), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
ING. CIVIL  
R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 33: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 17% de sustitución

ANEXO N°1.10. Resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 22% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0363-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emision: 30/06/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (22%)

2. TIPO DE ENSAYO:

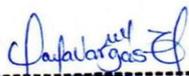
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificacion Testigo	f'c (kg/cm2)	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm2)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV22-(8)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	21528	269	128%	1
D210CV22-(9)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	20323	254	121%	4
D210CV22-(10)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	21666	270	129%	1
D210CV22-(11)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	21075	263	125%	2
D210CV22-(12)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	20994	262	125%	2
D210CV22-(13)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	20512	256	122%	2
D210CV22-(14)	210	02/06/2020	30/06/2020	28	10.1	80.12	21387	267	127%	1
Promedio								263	125%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 34: Resultados de resistencia a compresión a los 28 días – Probetas al 22% de sustitución

ANEXO N°1.11. Resistencia a compresión a los 56 días – Probeta Patrón



INFORME DE ENSAYO N° 0483-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 27/07/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO PATRON F'C = 210 KG/CM2

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
DP210-(15)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	21827	272	130%	2
DP210-(16)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	22591	282	134%	1
DP210-(17)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	22348	279	133%	1
DP210-(18)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	23413	292	139%	2
DP210-(19)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	23578	294	140%	2
DP210-(20)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	23267	290	138%	1
DP210-(21)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	22944	286	136%	2
Promedio								285	136%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (Fc), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 35: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probeta patrón

ANEXO N°1.12. Resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 7% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0484-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 27/07/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (7%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	Fc (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV7-(15)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	32016	400	190%	1
D210CV7-(16)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	28890	361	172%	1
D210CV7-(17)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	31277	390	186%	2
D210CV7-(18)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	29908	373	178%	2
D210CV7-(19)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	31171	389	185%	1
D210CV7-(20)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	32768	409	195%	2
D210CV7-(21)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	31362	391	186%	1
Promedio								388	185%	

NOTAS

1. El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
2. La identificación de probetas, resistencia especificada (F<sub>c</sub>), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
3. Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
4. Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
5. Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 36: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 7% de sustitución

ANEXO N°1.13. Resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 12% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0485-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 27/07/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (12%)

2. TIPO DE ENSAYO:

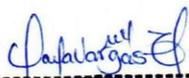
RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboración	Fecha de Ensayo	Edad (Días)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV12-(15)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	29667	370	176%	1
D210CV12-(16)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	30521	381	181%	2
D210CV12-(17)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	30839	385	183%	1
D210CV12-(18)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	31459	393	187%	1
D210CV12-(19)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	29808	372	177%	2
D210CV12-(20)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	30098	376	179%	1
D210CV12-(21)	210	01/06/2020	27/07/2020	56	10.1	80.12	30301	378	180%	4
Promedio								379	180%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 37: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 12% de sustitución

ANEXO N°1.14. Resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 17% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0486-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 28/07/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO F'C = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (17%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	Fc (kg/cm2)	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm2)	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm2)	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV17-(15)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	27036	337	160%	1
D210CV17-(16)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	26101	326	155%	4
D210CV17-(17)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	26328	329	157%	2
D210CV17-(18)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	26809	335	160%	1
D210CV17-(19)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	25942	324	154%	2
D210CV17-(20)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	27557	344	164%	2
D210CV17-(21)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	26728	334	159%	1
Promedio								333	159%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (Fc), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 38: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 17% de sustitución

ANEXO N°1.15. Resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 22% de sustitución



INFORME DE ENSAYO N° 0487-2020-QCE/TRJ

Fecha de Emisión: 28/07/2020

1. INFORMACION DEL SOLICITANTE

CLIENTE : MARCOS DAVID CASTAÑEDA PACHECO / FRANCO ARTURO SALCEDO LUIS  
 PROYECTO : TESIS DE INVESTIGACION UNIVERSITARIA  
 UBICACIÓN : TRUJILLO - TRUJILLO - LA LIBERTAD  
 ID MUESTRA : CONCRETO F'c = 210 KG/CM2 + CENIZA VOLANTE (22%)

2. TIPO DE ENSAYO:

RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS CILINDRICOS DE CONCRETO  
 (Norma de Ensayo ASTM C39/NTP 339.034)

3. RESULTADO DE ENSAYOS:

Identificación Testigo	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fecha de Elaboracion	Fecha de Ensayo	Edad (Dias)	Diametro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga Maxima (kg)	Resistencia Compresion (kg/cm <sup>2</sup> )	Porcentaje Resistencia	Tipo de Falla
D210CV22-(15)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	22867	285	136%	2
D210CV22-(16)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	23710	296	141%	1
D210CV22-(17)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	22368	279	133%	1
D210CV22-(18)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	23098	288	137%	2
D210CV22-(19)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	23430	292	139%	2
D210CV22-(20)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	24152	301	143%	1
D210CV22-(21)	210	02/06/2020	28/07/2020	56	10.1	80.12	23655	295	140%	2
Promedio								291	139%	

NOTAS

- El muestreo, elaboración de testigos, transporte al laboratorio y curado, han sido ejecutados por el Solicitante.
- La identificación de probetas, resistencia especificada (f'c), e información del solicitante, son datos proporcionados por el Cliente.
- Los ensayos se realizaron en una máquina de compresión automática marca ALFA, Modelo B-001/LCD/2, N° Serie 050220/21, de 2000 kN de capacidad. Con certificado de calibración N° CMC-031-2020, con velocidad de carga conforme a la Norma ASTM C39.
- Se usaron almohadillas de neopreno como elementos de distribución de carga, conforme a la Norma ASTM C1231
- Los tipos de falla indicados en los resultados corresponden a los descritos en la norma ASTM C39



Carla Evelin Vargas Toribio  
 ING. CIVIL  
 R. CIP. N° 170889

QUALITY CONTROL EXPRESS S.A.C.

AV. America Sur 4138 Urb. San Andres III Etapa - Trujillo // (044) 705879 - 951441959 // ventas@qce.com.pe

Figura 39: Resultados de resistencia a compresión a los 56 días – Probetas al 22% de sustitución

ANEXO N°2. Obtención de la ceniza volante en la EMPRESA TRUPAL S.A.



*Figura 40: En la Empresa Trupal S.A. obteniendo la ceniza volante*

ANEXO N°2.1 Obteniendo la ceniza volante del volquete que la trasladaba hacia el vertedero



*Figura 41: En la Empresa Trupal S.A. obteniendo la ceniza volante*

### ANEXO N°3. Caracterización de los agregados

#### ANEXO N°3.1. Análisis granulométrico del agregado fino



*Figura 42: Análisis granulométrico del agregado fino*

### ANEXO N°3.2. Análisis granulométrico del agregado grueso



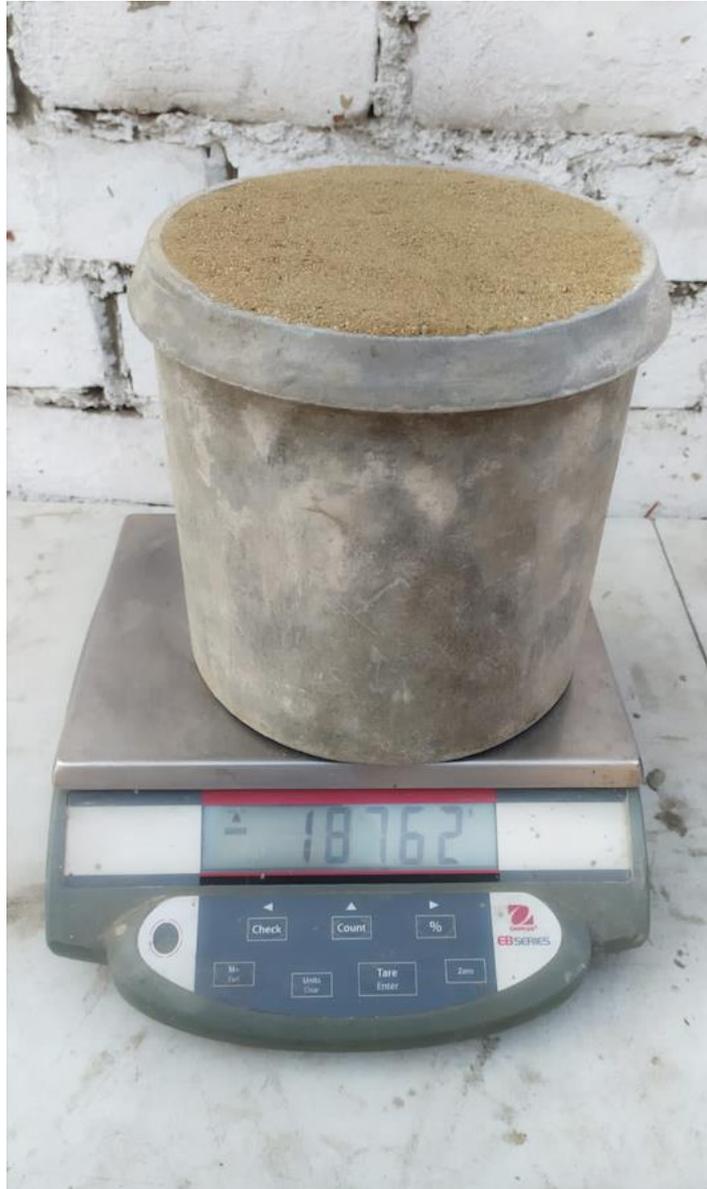
*Figura 43: Análisis granulométrico del agregado grueso*

ANEXO N°3.3. Peso unitario suelto del agregado fino



*Figura 44: Peso unitario suelto del agregado fino*

#### ANEXO N°3.4. Peso unitario suelto del agregado fino



*Figura 45: Resultado del peso unitario suelto del agregado fino*

ANEXO N°3.5. Peso unitario compactado del agregado fino



*Figura 46: Peso unitario compactado del agregado fino*

ANEXO N°3.6. Peso unitario compactado del agregado fino



*Figura 47: Resultado del peso unitario compactado del agregado fino*

ANEXO N°3.7. Peso unitario suelto del agregado grueso



*Figura 48: Peso unitario suelto del agregado grueso*

ANEXO N°3.8. Peso unitario suelto del agregado grueso



*Figura 49: Resultado del peso unitario suelto del agregado grueso*

ANEXO N°3.9. Peso unitario compactado del agregado grueso



*Figura 50: Peso unitario compactado del agregado grueso*

ANEXO N°3.10. Peso unitario compactado del agregado grueso



*Figura 51: Resultado del peso unitario suelto del agregado grueso*

ANEXO N°3.11. Peso específico y absorción del agregado fino



*Figura 52: Peso específico y absorción del agregado fino*



*Figura 53: Peso específico del agregado fino*



*Figura 54: Peso específico del agregado fino*

ANEXO N°4. Elaboración de las probetas de concreto según el diseño de mezcla ACI 211.1



*Figura 55: Agregados para el concreto*



*Figura 56: Vertiendo el agua en el trompo*



*Figura 57: Vertiendo el agregado grueso*



*Figura 58: Vertiendo el agregado fino*



*Figura 59: Vertiendo el cemento portland tipo I*



*Figura 60: Elaborando el concreto en el trompo*



*Figura 61: Mezcla de concreto en estado fresco*

ANEXO N°5. Temperatura del concreto en estado fresco



*Figura 62: Temperatura del concreto*

ANEXO N°6. Peso unitario del concreto en estado fresco



*Figura 63: Peso específico del concreto en estado fresco*



*Figura 64: Peso específico del concreto en estado fresco*

ANEXO N°7. Asentamiento del concreto



*Figura 65: Asentamiento del concreto*



*Figura 66: Asentamiento del concreto*



*Figura 67: Resultado del asentamiento del concreto – Muestra N°01*



*Figura 68: Resultado del asentamiento del concreto – Muestra N°02*



*Figura 69: Asentamiento del concreto - Muestra N°03*

ANEXO N°8. Probetas a usar para los especímenes de concreto - 10cm x 20cm



*Figura 70: Probetas de concreto de 10 cm x 20 cm*

ANEXO N°9. Elaboración de las probetas de concreto



*Figura 71: Elaborando las probetas de concreto*

### ANEXO N°9.1. Chuceado de las probetas de concreto



*Figura 72: Chuceando las probetas de concreto*

ANEXO N°9.2. Compactación de las probetas de concreto con un mazo de goma sobre la primera capa



*Figura 73: Compactación de las probetas de concreto*

ANEXO N°9.3. Compactación de las probetas de concreto con un mazo de goma sobre la última capa



*Figura 74: Compactación de las probetas de concreto – última capa*

ANEXO N°9.4. Enrasado de las probetas de concreto



*Figura 75: Enrasado de las probetas de concreto*

ANEXO N°9.5. Llenado de la última capa de concreto en la probeta



*Figura 76: Elaborando las probetas de concreto*

ANEXO N°9.6. Chuceado de la última capa de concreto en la probeta



*Figura 77: Chuceado de las probetas de concreto*

ANEXO N°9.7. Compactación de la última capa de concreto en la probeta



*Figura 78: Compactación de las probetas de concreto*

ANEXO N°9.8. Enrasado de las probetas de concreto



*Figura 79: Enrasado de las probetas de concreto*

ANEXO N°9.9. Especímenes de concreto elaboradas



*Figura 80: Especímenes de concreto*

ANEXO N°9.10. Curado de las probetas de concreto



*Figura 81: Curado de las probetas*

ANEXO N°9.11. Probetas de concreto listas para ser ensayadas en la máquina compresora



Figura 82: Especímenes de concreto curadas

ANEXO N°10. Rotura de probetas – Ensayo de resistencia a compresión



*Figura 83: Ensayo de resistencia a compresión*



*Figura 84: Rotura de probeta*



*Figura 85: Máquina compresora*



*Figura 86: Rotura de probetas*