

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

Influencia de la ceniza volante “fly ash” como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto  $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$

Por:

Jafet Mánfred Pérez Atoche

Asesor:

Ing. Moises Araca Chile

Juliaca, julio de 2018

**Área temática:** Ingeniería Civil.

**Línea de investigación – UPeU:** Materiales y procesos constructivos

Ficha bibliográfica elaborada por el Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación (CRAI) de la UPeU

Pérez Atoche, Jafet Máfred

Influencia de la ceniza volante “fly ash” como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ . / Autor: Jafet Máfred Pérez Atoche; Asesor: Ing. Moises Araca Chile - Juliaca, 2018.

206 páginas: anexos, figuras, tablas.

Tesis (Licenciatura) -- Universidad Peruana Unión. Facultad de Ingeniería y Arquitectura. EP. de Ingeniería Civil, 2018.

Incluye referencias y resumen.

Campo del conocimiento: Ingeniería Civil.

1. Ceniza volante.
2. Concreto patrón.
3. Prueba de asentamiento.
4. Resistencia a la compresión.
5. Variación del costo de producción.

**DECLARACIÓN JURADA  
DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**

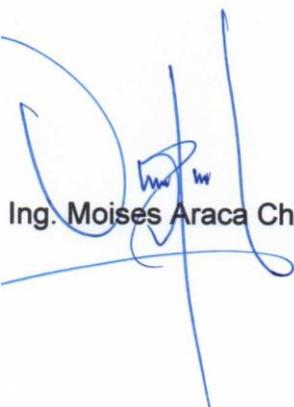
Ing. Moises Araca Chile, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: **“Influencia de la ceniza volante *“fly ash”* como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto  $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ ”**. constituye la memoria que presenta el Bachiller Jafet Mánfred Pérez Atoche para optar al título Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los veinticuatro días, del mes de julio del año dos mil dieciocho.

  
Ing. Moises Araca Chile

“Influencia de la ceniza volante *“fly ash”* como sustituto parcial del cemento portland IP en las propiedades del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ”

# TESIS

Presentado para optar el título profesional de Ingeniero Civil

## JURADO CALIFICADOR



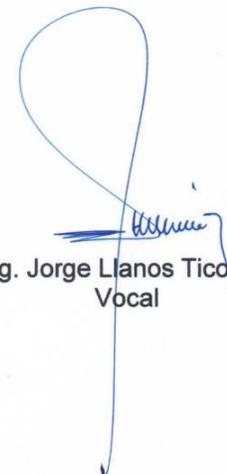
Ing. Herson Duberly Pari Cusi  
Presidente



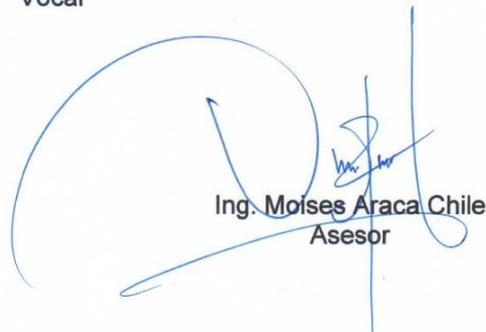
Ing. Percy Armando Cota Mayorga  
Secretario



Ing. Ecler Mamani Chambi  
Vocal



Ing. Jorge Llanos Ticona  
Vocal



Ing. Moises Araca Chile  
Asesor

Juliaca, 24 de Julio del 2018

## **Dedicatoria**

Dedico el presente proyecto de investigación:

A Dios, por mostrarme el día a día que con humildad, paciencia, sabiduría y mucha entrega todo es posible.

A mi Padre Mánfred Pérez Nina, Madre Felicita Atoche Zarate y Hermana Xialy Abigail Pérez Atoche quienes con su amor, apoyo y comprensión incondicional estuvieron siempre a lo largo de mi vida universitaria; a ellos que siempre tuvieron una palabra de aliento en los momentos difíciles y que han sido incentivo en mi vida.

## **Agradecimientos**

A Dios, que si no fuera por su voluntad hoy no vería realizada esta meta.

A mis padres, quienes me guiaron para poder llegar donde estoy ahora, enseñándome que el camino recto es el de la perseverancia y dedicación en lo que a uno le gusta, me impulsan a seguir adelante, siendo mi apoyo para derrotar cualquier adversidad; ellos han puesto todo su esfuerzo y apoyo incondicional para ver culminada esta meta en mi vida. De una forma muy especial a mi tía Luz Angélica Astoray por el apoyo moral y económico que me brindó.

Finalmente quiero agradecer a mi asesor de tesis el Ingeniero Moisés Araca Chile, por su paciencia, colaboración y aportes para el desarrollo del proyecto.

## Índice general

Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Índice general.....	vii
Índice de tablas.....	ix
Índice de figuras.....	xiv
Índice de anexos.....	xv
Símbolos usados.....	xvi
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
<b>Capítulo I. El problema.....</b>	<b>19</b>
1.1. Planteamiento del problema.....	19
1.2. Interrogantes de la investigación.....	20
1.2.1. Problema general.....	20
1.2.2. Problemas específicos.....	20
1.3. Objetivos de estudio.....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos.....	20
1.4. Justificación.....	21
<b>Capítulo II. Marco teórico.....</b>	<b>22</b>
2.1. Antecedentes.....	22
2.2. Marco conceptual.....	24
2.2.1. Ubicación Geográfica.....	24
2.2.2. El concreto.....	24
2.2.3. Ceniza volante.....	25
2.2.3.1. Composición química.....	26
2.2.3.2. Composición física.....	27
2.2.3.3. Características principales de las cenizas volantes en el concreto.....	28
2.2.3.4. Reacción química de las cenizas volantes con los componentes del cemento.....	28
2.2.4. Cemento.....	29
2.2.4.1. Cemento portland normal.....	29

2.2.4.1.1. Clasificación del cemento portland.....	30
2.2.4.2. Cemento portland puzolánico.....	31
2.2.4.2.1. Compuestos principales.....	32
2.2.4.2.2. Compuestos secundarios.....	34
2.2.5. Agua.....	37
2.2.5.1. Requisitos que debe cumplir el agua.....	37
2.2.6. Agregados.....	38
2.2.6.1. Agregado fino.....	39
2.2.6.1.1. Granulometría (NTP 400.012) .....	40
2.2.6.1.2. Módulo de fineza (NTP 400.011) .....	41
2.2.6.1.3. Contenido de humedad (NTP 400.016) .....	42
2.2.6.1.4. Peso específico (NTP 400.022) .....	42
2.2.6.1.5. Absorción (NTP 400.022) .....	43
2.2.6.1.6. Peso unitario (NTP 400.017) .....	44
2.2.6.2. Agregado grueso.....	45
2.2.6.2.1. Granulometría (NTP 400.012) .....	46
2.2.6.2.2. Tamaño máximo.....	48
2.2.6.2.3. Tamaño máximo nominal.....	48
2.2.6.2.4. Módulo de fineza (NTP 400.011) .....	50
2.2.6.2.5. Contenido de humedad (NTP 400.016) .....	50
2.2.6.2.6. Peso específico (NTP 400.021) .....	51
2.2.6.2.7. Absorción (NTP 400.021) .....	52
2.2.6.2.8. Peso unitario (NTP 400.017) .....	53
2.2.7. Concreto en estado fresco.....	53
2.2.7.1. Trabajabilidad (Asentamiento) .....	53
2.2.7.1.1. Ensayo de trabajabilidad.....	55
2.2.8. Concreto en estado endurecido.....	56
2.2.8.1. Resistencia a la compresión.....	56
2.2.8.2. Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto.....	57
2.2.8.3. Resistencia a la compresión del concreto con ceniza volante.....	57
2.2.9. Tratamiento estadístico.....	58

2.2.9.1. Prueba de hipótesis.....	58
2.2.9.2. Selección del test.....	58
2.2.9.3. Comprobación de la normalidad de la variable.....	59
2.2.9.3.1. Distribución de frecuencias.....	59
2.2.10. Cálculo del estadístico F.....	61
2.2.11. Distribución t de Student.....	62
<b>Capítulo III: Materiales y Métodos.....</b>	<b>65</b>
3.1. Diseño de investigación.....	65
3.1.1. Tipo de investigación.....	65
3.1.2. Nivel de investigación.....	65
3.1.3. Método de investigación.....	65
3.1.4. Muestra de estudio.....	65
3.2. Formulación de hipótesis.....	66
3.2.1. Hipótesis general.....	66
3.2.2. Hipótesis específicas.....	66
3.3. Variables a observar en el desarrollo experimental.....	67
3.4. Procedencia y ensayos de los materiales a utilizar en la investigación.....	69
3.4.1. Agregados.....	69
3.4.1.1. Cantera.....	69
3.4.1.1.1. Agregado fino.....	70
3.4.1.1.2. Agregado grueso.....	75
3.4.2. Ceniza volante utilizada.....	80
3.4.2.1. Características de la ceniza volante utilizada.....	82
3.4.3. Cemento utilizado.....	84
3.4.4. Agua.....	84
3.5. Preparación del concreto.....	84
3.5.1. Método de diseño del ACI.....	85
3.5.2. Diseño del concreto patrón.....	85
3.5.3. Diseño de mezclas de concreto para diferentes porcentajes de ceniza volante.....	91
3.5.3.1. Método por volumen absoluto equivalente.....	92
3.5.3.2. Método por peso equivalente.....	93

3.5.4. Elaboración de testigos.....	94
3.5.4.1. Proceso de curado de testigos.....	94
<b>Capítulo IV: Resultados y discusión.....</b>	<b>96</b>
4.1. Presentación de resultados.....	96
4.1.1. Trabajabilidad.....	96
4.1.2. Resistencia a la compresión.....	97
4.2. Interpretación de resultados.....	106
4.2.1 Agregados.....	107
4.3. Ceniza volante.....	108
4.4. Propiedades del concreto en estado fresco.....	108
4.4.1. Trabajabilidad.....	108
4.5. Propiedades del concreto en estado endurecido.....	110
4.5.1. Resistencia a la compresión.....	110
4.6. Prueba de hipótesis.....	112
4.6.1. Prueba de hipótesis para la resistencia a la compresión del concreto.....	112
4.6.2. Prueba de hipótesis para la trabajabilidad del concreto fresco.....	121
4.7. Análisis de costo.....	125
<b>Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>130</b>
5.1. Conclusiones.....	130
5.1.1. Conclusión general.....	130
5.1.2. Conclusiones específicas.....	130
5.2. Recomendaciones.....	131
Referencias.....	132
Anexos.....	135

## Índice de tablas

Tabla 1. Composición Química de la ceniza volante.....	27
Tabla 2. Características físicas que deben cumplir los diferentes tipos de ceniza volante.....	27
Tabla 3. Reacciones de hidratación de los silicatos de cemento portland.....	29
Tabla 4. Requisitos para el agua mezcla.....	38
Tabla 5. Requisitos granulométricos para el agregado fino.....	41
Tabla 6. Límites granulométricos para el agregado grueso.....	47
Tabla 7. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso.....	50
Tabla 8. Clases de mezclas y su asentamiento.....	54
Tabla 9. Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días.....	57
Tabla 10. Valores de Dispersión en el control de concreto.....	60
Tabla 11. Número de muestras a realizarse.....	66
Tabla 12. Matriz de consistencia.....	67
Tabla 13. Cálculo del contenido de humedad del agregado fino.....	72
Tabla 14. Datos calculados.....	74
Tabla 15. Datos calculados del peso unitario suelto del agregado fino.....	75
Tabla 16. Datos calculados del peso unitario compactado del agregado fino.....	75
Tabla 17. Datos calculados de contenido de humedad agregado fino.....	77
Tabla 18. Datos calculados de peso específico y absorción del agregado fino.....	78
Tabla 19. Datos calculados del peso unitario suelto del agregado grueso.....	79
Tabla 20. Datos calculados del peso unitario compactado del agregado grueso.....	79
Tabla 21. Datos proporcionados por el laboratorio analítico del sur.....	82
Tabla 22. Datos proporcionados por el laboratorio de química.....	83
Tabla 23. Datos proporcionados por el laboratorio de química.....	83
Tabla 24. Datos generales calculados y proporcionados.....	85
Tabla 25. Resistencia a la compresión promedio.....	86
Tabla 26. Volumen unitario de agua.....	86
Tabla 27. Contenido de aire atrapado.....	87
Tabla 28. Relación agua – cemento por resistencia.....	87
Tabla 29. Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....	88

Tabla 30. Resumen de materiales por el método de volumen absoluto equivalente.....	92
Tabla 31. Resumen de materiales por el método de volumen absoluto equivalente.....	93
Tabla 32. Medida de asentamientos tomados en diferentes fechas de colocado de concreto.....	96
Tabla 33. Resistencia a la compresión del concreto con 100% de cemento + 0 % de ceniza volante a una edad de 7 días.....	97
Tabla 34. Resistencia a la compresión del concreto con 100% de cemento + 0 % de ceniza volante a una edad de 14 días.....	98
Tabla 35. Resistencia a la compresión del concreto con 100% de cemento + 0 % de ceniza volante a una edad de 28 días.....	98
Tabla 36. Resistencia a la compresión del concreto con 95% de cemento + 5 % de ceniza volante a una edad de 7 días.....	99
Tabla 37. Resistencia a la compresión del concreto con 95% de cemento + 5 % de ceniza volante a una edad de 14 días.....	99
Tabla 38. Resistencia a la compresión del concreto con 95% de cemento + 5 % de ceniza volante a una edad de 28 días.....	100
Tabla 39. Resistencia a la compresión del concreto con 90% de cemento + 10 % de ceniza volante a una edad de 7 días.....	100
Tabla 40. Resistencia a la compresión del concreto con 90% de cemento + 10 % de ceniza volante a una edad de 14 días.....	101
Tabla 41. Resistencia a la compresión del concreto con 90% de cemento + 10 % de ceniza volante a una edad de 28 días.....	101
Tabla 42. Resistencia a la compresión del concreto con 85% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 7 días.....	102
Tabla 43. Resistencia a la compresión del concreto con 85% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 14 días.....	102
Tabla 44. Resistencia a la compresión del concreto con 85% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 28 días.....	103
Tabla 45. Resistencia a la compresión del concreto con 80% de cemento + 20 % de ceniza volante a una edad de 7 días.....	103
Tabla 46. Resistencia a la compresión del concreto con 80% de cemento + 20 % de ceniza volante a una edad de 14 días.....	104

Tabla 47. Resistencia a la compresión del concreto con 80% de cemento + 20 % de ceniza volante a una edad de 28 días.....	104
Tabla 48. Resistencia a la compresión del concreto con 75% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 7 días.....	105
Tabla 49. Resistencia a la compresión del concreto con 75% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 14 días.....	105
Tabla 50. Resistencia a la compresión del concreto con 75% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 28 días.....	106
Tabla 51. Resultados de los ensayos químicos de la ceniza volante.....	108
Tabla 52. Resumen de resultados de ensayos de trabajabilidad.....	109
Tabla 53. Resistencia a la compresión promedio obtenido.....	110
Tabla 54. Cálculo del estadístico de prueba $t_p$ para el concreto a una edad de 7 días.....	114
Tabla 55. Cálculo del estadístico de prueba $t_p$ para el concreto a una edad de 14 días.....	115
Tabla 56. Cálculo del estadístico de prueba $t_p$ para el concreto a una edad de 28 días.....	115
Tabla 57. Decisión de la hipótesis $H_o$ con el $t_p$ para el concreto a 7 días de edad.....	117
Tabla 58. Decisión de la hipótesis $H_o$ con el $t_p$ para el concreto a 14 días de edad.....	118
Tabla 59. Decisión de la hipótesis $H_o$ con el $t_p$ para el concreto a 28 días de edad.....	119
Tabla 60. Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student.....	120
Tabla 61. Cálculo del estadístico de prueba $t_p$ para el concreto fresco.....	123
Tabla 62. Decisión de la hipótesis $H_o$ con el $t_p$ para el concreto fresco.....	124
Tabla 63. Costo del concreto patrón.....	126
Tabla 64. Costo del concreto con 95% de Cemento + 5% de Ceniza volante.....	126
Tabla 65. Costo del concreto con 90% de Cemento + 10% de Ceniza volante.....	127
Tabla 66. Costo del concreto con 85% de Cemento + 15% de Ceniza volante.....	127
Tabla 67. Costo del concreto con 80% de Cemento + 20% de Ceniza volante.....	128
Tabla 68. Costo del concreto con 75% de Cemento + 25% de Ceniza volante.....	128
Tabla 69. Resumen del costo del concreto (Sólo materiales) para diferentes dosificaciones...	128

## Índice de figuras

Figura 1. Esquema de combustión de carbón pulverizado.....	25
Figura 2. Curvas envolventes para el agregado fino, según norma NTP 400.037.....	41
Figura 3. Equipo para la prueba de consistencia.....	55
Figura 4. Prueba de consistencia.....	56
Figura 5. Curva de distribución para hipótesis de dos colas $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} \neq \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} = \mu_{\bar{x}_C}$ .....	62
Figura 6. Curva de distribución para hipótesis de una cola a la derecha $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow$ $H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$ .....	63
Figura 7. Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la Izquierda $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} < \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow$ $H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \geq \mu_{\bar{x}_C}$ .....	63
Figura 8. Curva granulométrica del agregado fino.....	71
Figura 9. Curva granulométrica del agregado grueso.....	76
Figura 10. Central termoeléctrica Ilo 21.....	80
Figura 11. Esquema general de la central termoeléctrica Ilo 21.....	81
Figura 12. Vista satelital de la central termoeléctrica Ilo 21.....	82
Figura 13. Evolución de la resistencia a compresión obtenida para diferentes porcentajes de ceniza volante.....	111
Figura 14. Gráfica del estadístico t para $\alpha = 0.05$ y 18 grados de libertad.....	116
Figura 15. Gráfica del estadístico t para $\alpha = 0.05$ y 8 grados de libertad.....	124

## Índice de anexos

<b>Anexo A: Agregados.....</b>	<b>135</b>
<b>Anexo B: Diseño de Mezcla por el método ACI 211.1.....</b>	<b>140</b>
Anexo B-1: Método por Volumen Absoluto Equivalente.....	140
Anexos B-2: Método por Peso equivalente.....	152
<b>Anexo C: Certificados de pruebas a la compresión del concreto.....</b>	<b>164</b>
<b>Anexo D: Análisis físico químico de la ceniza volante.....</b>	<b>182</b>
<b>Anexo E: Plano de ubicación cantera de piedra chancada.....</b>	<b>184</b>
<b>Anexo F: Fichas de datos de seguridad de la ceniza volante ENERSUR.....</b>	<b>185</b>
<b>Anexo G: Análisis estadístico para la validación de hipótesis previa a la T de Student.....</b>	<b>188</b>
Anexo G-1: Distribución de frecuencias.....	188
<b>Anexo F: Panel fotográfico.....</b>	<b>192</b>

## Símbolos usados

ACI	: American Concrete Institute (Instituto Americano del Concreto)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Prueba)
NTP	: Norma Técnica Peruana
Ho	: Hipótesis nula
Hi	: Hipótesis de investigación
Ag	: Agregado Grueso
Af	: Agregado Fino
Ag	: Agregado
Pe	: Peso específico
a/c	: Agua/Cemento
SSS	: Superficialmente Seco Saturado

## Resumen

El presente trabajo de investigación se desarrolló en el distrito de San Román esencialmente en el campus de la Universidad Peruana Unión, durante los meses de marzo del 2017 hasta el mes de abril del 2018, con el propósito de evaluar las propiedades físico químicas de la ceniza volante, en la trabajabilidad del concreto (prueba de asentamiento “*Slump*”), en la resistencia a la compresión del concreto y la variación del costo de producción de este. Se realizaron ensayos comparativos entre un concreto patrón, que no contenía ceniza volante con un concreto que si contenía ceniza volante en diferentes porcentajes (5%, 10%, 15%, 20% y 25%) como sustituto parcial del cemento portland en peso. El concreto patrón se diseñó para lograr una resistencia a la compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> a una edad de 28 días. Las propiedades del concreto que se observaron fueron la trabajabilidad y la resistencia a la compresión ensayados a 7, 14 y 28 días de edad del concreto. Se utilizó cemento portland tipo IP, el curado de testigos de concreto se realizó a temperatura ambiente, cabe indicar que esta temperatura representa la temperatura del agua y del medio normal en nuestra zona. Se logró obtener un concreto con ceniza volante de resistencia superior a un concreto sin ceniza volante a la edad de 28 días, para este concreto con ceniza volante los porcentajes de sustitución parcial de ceniza volante fueron de 5% y 10% del peso del cemento.

**Palabras clave:** Ceniza volante, concreto patrón, prueba de asentamiento, resistencia a la compresión, variación del costo de producción.

## **Abstract**

The present research work was developed in the district of San Román, essentially on the campus of the Universidad Peruana Unión, during the months of March 2017 until April 2018, with the purpose of evaluating the physical chemical properties of the ash. flywheel, in the workability of concrete (settlement test "Slump"), in the resistance to compression of concrete and the variation of the cost of production of this. Comparative tests were carried out between a concrete standard, which did not contain fly ash with a concrete that contained fly ash in different percentages (5%, 10%, 15%, 20% and 25%) as a partial substitute for portland cement by weight. The concrete pattern was designed to achieve a compressive strength of 210 kg / cm<sup>2</sup> at an age of 28 days. The concrete properties observed were the workability and compressive strength tested at 7, 14 and 28 days of concrete age. Portland type IP cement was used, the curing of concrete controls was carried out at room temperature, it should be noted that this temperature represents the temperature of the water and the normal environment in our area. It was possible to obtain a concrete with fly ash of superior resistance to a concrete without fly ash at the age of 28 days, for this concrete with fly ash the percentages of partial substitution of fly ash were 5% and 10% of the weight of the cement.

**Key words:** Fly ash, concrete pattern, settlement test, resistance to compression, production cost variation.

## Capítulo I. El problema

### 1.1. Planteamiento del problema

El concreto es aquel material que ha tenido mayor uso en la construcción de edificios e infraestructura en general, es por esto que el mundo de la construcción se ha preocupado en buscar una forma de producir concreto con mejor desempeño, técnicos como económicos y hoy en día también ecológicos.

Esto ha hecho que se mire a la búsqueda de materiales cementantes alternativos al cemento portland que aporten nuevas cualidades al concreto a la vez que contribuyan al ahorro energético y a la disminución de la emisión de contaminantes, propias de la producción del cemento portland IP, el proceso de producción del cemento portland es el que tiene mayor demanda de energía después de la que requiere la producción del acero, el proceso de fabricación del cemento tienen una alta emisión de contaminantes a de CO<sub>2</sub>, la producción de cemento contribuye con el 7% de la emisión total de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Uno de los materiales que se ha estudiado como un cementante complementario del cemento portland es la ceniza volante, un subproducto de la combustión del carbón en las centrales termoeléctricas, que tradicionalmente se ha considerado como desperdicio, por lo que se han incurrido en los correspondientes gastos para su eliminación.

La sustitución de un porcentaje de ceniza volante por cemento portland IP en el diseño de las mezclas de concreto según las investigaciones: "Desarrollo de las características mecánicas del hormigón fabricado con adiciones de cenizas volantes bajo varias condiciones de curado", "Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante (termopaipa IV) y agua constante", "Concreto de alto desempeño con elevado consumo de ceniza volante" y "Influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ión cloruro y del dióxido de carbono", indican que a edades tardías (mayor a los 28 días) el concreto llega a igualar o superar la resistencia a compresión en comparación al concreto convencional.

## **1.2. Interrogantes de la investigación**

### **1.2.1. Problema general**

¿Cómo influye el porcentaje de cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana en las características mecánicas del concreto?

### **1.2.2. Problemas específicos**

¿Cómo son las propiedades fisicoquímicas de la ceniza volante de la central termoeléctrica IL021?

¿Cómo influye el porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana en la trabajabilidad del concreto fresco?

¿Cómo influye el porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana en la resistencia a compresión de un concreto  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>?

¿Cómo varía el costo de producción del concreto elaborado con un porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana frente a un concreto convencional?

## **1.3. Objetivos de estudio**

### **1.3.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de cenizas volantes como sustituto parcial en un porcentaje del cemento portland IP en las características del concreto con agregados de la cantera surupana.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Constatar si las propiedades fisicoquímicas de la ceniza volante de la central termoeléctrica IL021 están acordes a las recomendaciones y normas para elaborar concretos con agregados de la cantera surupana.

Determinar la trabajabilidad en el concreto fresco al adicionarle un porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana.

Determinar la resistencia a la compresión de un concreto  $f^c=210$  kg/cm<sup>2</sup> al adicionarle un porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana.

Determinar el costo de producción del concreto elaborado con un porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana frente a un concreto convencional.

#### **1.4. Justificación**

La presente investigación servirá como una nueva alternativa de diseñar concretos con la adición de un porcentaje de ceniza volantes como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana, porque el Perú cuenta con gran potencial de reservas de carbón, además el carbón es una alternativa futura a la crisis energética en el Perú.

El reemplazar parte del cemento por ceniza volante en las mezclas de concreto conlleva a un beneficio económico, por ser la ceniza volante un material más cómodo en costo que el cemento además disminuyen los gastos de eliminación de la ceniza volante para la empresa productora de energía eléctrica.

Enersur (2019), en el Perú la C.T. Ilo21 es la única central de generación eléctrica a carbón y está ubicada al sur de la ciudad de Ilo a 21 km del puerto de Ilo, donde parte de la ceniza volante producida es vendida a empresas concreteras y otra parte es dispuesta en la cancha de ceniza, para luego ser compactada con agua de mar así reducir las emisiones de las cenizas al medio ambiente.

Basándose en las consideraciones anteriores y pensando en el futuro de las construcciones es que se cree oportuno y conveniente, desarrollar a nivel de laboratorio de tecnología de concreto y ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión Filial Juliaca, de realizar las investigaciones y estudios necesarios.

## Capítulo II. Marco teórico

### 2.1. Antecedentes

Los estudios realizados han demostrado que con un adecuado diseño de mezclas y proporción de reemplazo de cemento portland por ceniza volante se pueden llegar a tener resistencias mecánicas comparables a las de un concreto convencional con sólo cemento portland como cementante, tal como indica en las siguientes investigaciones.

Molina Bas O. I, Moragues Terrades A. y Gálvez Ruiz J. C. (2008), en su trabajo de investigación titulado "Influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Portland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ión cloruro y del dióxido de carbono", los autores realizan la investigación con el objetivo de estudiar la influencia de las cenizas volantes, como sustituto parcial del cemento portland en la durabilidad del concreto dentro de los límites de cantidad de ceniza admitidos por la normativa UNE 83414:1990. Para lograr estos objetivos se realizan ensayos de caracterización: resistencia a compresión y poro simetría por intrusión de mercurio (MIP por sus siglas en inglés). Además, se estudia la resistencia del concreto con cenizas a la penetración del CO<sub>2</sub> y del ión cloruro, se realiza tres dosificaciones de cantidades ceniza/cemento=0, 0,15 y 0,35, los autores indican que la incorporación de cenizas en un 15 y un 35 por ciento no varía significativamente la resistencia a compresión. Al mismo tiempo, se observa que los concretos con cenizas volantes superan la resistencia del concreto sin ceniza (patrón o referencia) a los 28 días, y en especial a los 91 días, también indican que las cenizas volantes pueden contribuir a mejorar la resistencia a compresión a edades tan tempranas como los 28 días.

Vásquez Paniagua Eric UNAM (2007), en su trabajo de tesis titulado "Concreto de alto desempeño con elevado consumo de ceniza volante", el autor estudia el comportamiento de los concretos con alto contenido de ceniza volante y mide las mejoras que la ceniza puede introducir en las propiedades de las mezclas de concreto en estado fresco y endurecido, decide basar el estudio en 7 mezclas, cada una de las cuales tendría su correspondiente con la inclusión de ceniza volante al 50% del material cementante, el autor concluye que las mezclas de concreto con ceniza volante tienen una menor resistencia a compresión con respecto a sus mezclas de control, sobre todo a edades tempranas.

Continuando con Vásquez Paniagua Eric UNAM (2007), la ganancia de resistencia en el tiempo es mayor para las mezclas con ceniza volante, es por esto que a edades tardías (90 días) la resistencia a compresión de las mezcla-s con ceniza volante se acerca más a las de su mezcla de control, recomienda considerar para las mezclas de concreto con ceniza volante una edad de diseño mayor a los 28 días, también menciona expresiones que predicen la resistencia a compresión en el tiempo con respecto a la resistencia del concreto alcanzada a los 28 días.

Santaella Valencia Luz Elena y Salamanca Correa Rodrigo (2004), en su trabajo de grado titulado "Comportamiento del concreto con bajos porcentajes de ceniza volante (termopaipa IV) y agua constante", estudian el comportamiento del concreto a compresión con tres diseños que sustituyen al cemento por ceniza volante (D1=10%, D2=20% y D3=30%), los autores concluyen que las cenizas volantes contribuyen a la reducción de la masa por metro cúbico de concreto fresco, haciéndolas más livianas en comparación con el concreto patrón, A la edad de 28 y 56 días, la resistencia a la compresión es superior al diseño patrón cuando se reemplaza 10 % de cemento por ceniza volante. El concreto adquiere resistencias altas con pequeñas adiciones de ceniza en remplazo de cemento a partir de 28 días.

Munther Latif Abdul Hussain (1993) en su trabajo de tesis "Desarrollo de las características mecánicas del hormigón fabricado con adiciones de cenizas volantes bajo varias condiciones de curado", En esta investigación se analiza, experimentalmente, el desarrollo de las características mecánicas del concreto con sustituciones de cemento por cenizas volantes (clase F-ASTM) de un 20, 35 y 50 por ciento, en peso; curados a temperaturas y humedades variando entre 10°C, 20°C y 30°C con el 60 y 100%, respectivamente, realizándose los ensayos a 7,28 y 90 días. La resistencia a compresión es muy sensible a las condiciones de curado de estos concretos, aumentando esta sensibilidad con la cantidad de cenizas adicionadas. Sin embargo, un aumento de la temperatura es beneficioso, especialmente a corto plazo, según los resultados indica que la edad de 90 días puede ser una buena referencia para concretos con bajo contenido de ceniza volante ( $\leq 35\%$ ), pero queda corta en el caso de mayores cantidades de cenizas, según las tablas de resultados de la resistencia a la compresión llega a aumentar la resistencia respecto a la muestra patrón: A los 28 días en un 3% con 35% de contenido de ceniza volante y una humedad de curado de 100% y a los 90 días un aumento en un 46%.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Ubicación Geográfica**

La provincia de San Román se encuentra ubicada en la zona encuentra en el lado Nor Oeste del Lago Titicaca y ocupa el 3,2% de la superficie territorial del Departamento de Puno o Región Puno, su territorio es de de 2 277,63 kilómetros cuadrados, en 2015 tenía una población de 293 697 habitantes, la mayoría de los cuales reside en su ciudad capital Juliaca. Además la provincia concentra alrededor del 30 % de la población urbana y el 41 % del comercio en la región Puno.

#### **Límites:**

- Norte: Provincia de Azángaro y Provincia Lampa.
- Este: Provincia de Huancané.
- Sur: Provincia de Puno.
- Oeste: Departamentos de Arequipa y Moquegua.

### **2.2.2. El concreto**

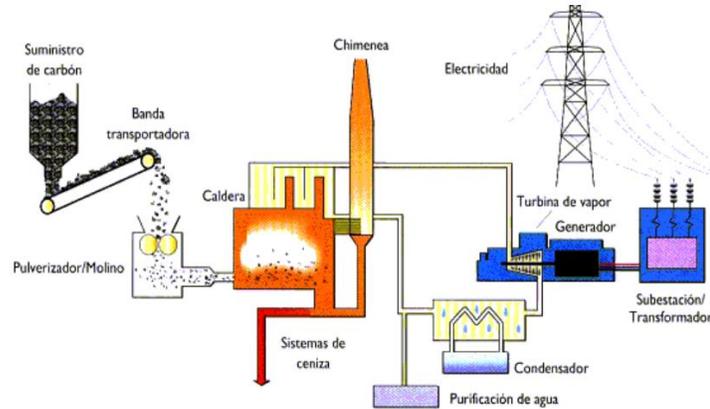
El concreto es una mezcla homogénea compuesta por cemento portland, agregados tanto fino como grueso, aire y agua; estas se colocan en proporciones adecuadas para obtener propiedades prefijadas, especialmente de resistencia a la compresión.

Abanto (1994) “El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo, algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto”.

La presente investigación se desarrolla con un concreto conformado con los siguientes materiales: agua, agregados, ceniza volante y cemento portland, es de gran necesidad conocer las componentes que conforman cada uno de ellos y su interrelación de los materiales.

### **2.2.3. Ceniza volante**

La norma ASTM C-618-03, “define el término ceniza volante como: El residuo finamente dividido que resulta de la combustión del carbón mineral o finamente molido y que es transportado en el flujo gaseoso”.



*Figura 1.* Esquema de combustión de carbón pulverizado.

Fuente: Quiroz Bazán Ricardo David. (2005) Tesis "Evaluación Energética Y Económica de La Central Térmica A Carbón Ilo21" Pág. 13, Universidad Nacional de Ingeniería Perú.

Bolívar (1987) Se denomina cenizas volantes al residuo procedente de la combustión del carbón pulverizado en las centrales térmicas. Este residuo está constituido de partículas muy finas que salen de la caldera junto con los gases quemados y son recogidos mediante precipitadores electrostáticos o colectores mecánicos.

Bolívar (1987) Básicamente son cuatro los tipos de carbón que se utilizan en las centrales termoeléctricas: antracita, bituminoso, sub-bituminoso y lignito, en los que varía principalmente el poder calorífico y la cantidad de carbón fijo presente. El tipo de carbón utilizado influenciará en el tipo de ceniza volante que se obtenga.

Bolívar (1987) “Los componentes orgánicos son oxidados y volatilizados durante la combustión y las partículas de cenizas se funden en la zona de combustión del horno, sin embargo una vez que dejan esta zona se enfrían muy rápido, pudiendo pasar de 1500°C a 200°C en unos pocos segundos, y solidifican como partículas esféricas vídriasas”.

Bolívar (1987) “Alguna de esta materia fundida se aglomera y debido a su tamaño no puede ser arrastrada por el flujo gaseoso y cae depositada en el fondo de la cámara de combustión formando la escoria. Pero la mayoría es arrastrada por el flujo gaseoso y es llamada ceniza volante”.

Bolívar (1987) Para retener las cenizas volantes del flujo de gases que sale de la cámara de combustión y evitar que sean emitidas a la atmósfera se emplean diversos sistemas de retención: filtros de tejidos especiales, colectores mecánicos (ciclones), depuradores por vía húmeda y precipitadores electrostáticos. Las cenizas volantes se recogen en las tolvas de los precipitadores electrostáticos, desde donde son transportadas a lugares de almacenamiento, situadas frecuentemente en balsas de decantación o en seco.

La norma ASTM C 618-03 divide en tres los tipos de ceniza volante:

- Clase N: Puzolanas naturales calcinadas o sin calcinar, como algunas tierras diatomáceas; horstenos opalinos y pizarras; tobas y cenizas volcánicas o pumíticas, calcinadas o sin calcinar; y materiales varios que requieren de calcinación para inducir propiedades satisfactorias, como algunas arcillas y pizarras.
- Clase F: Ceniza volante normalmente producida de la calcinación del carbón antracítico o bituminoso. Esta clase de ceniza volante tiene propiedades puzolánicas.
- Clase C: Ceniza volante normalmente producida de la calcinación del carbón sub bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza volante además de tener propiedades puzolánicas tiene propiedades cementicias (Vásquez Paniagua, 2007).

Rivva (2010) “Las cenizas que deben ser empleadas para la elaboración del concreto deben ser cenizas de Clase F, no son recomendables las cenizas de Clase C, porque tienen exceso de cal y poco de óxido de alúmina y óxido de fierro”.

### **2.2.3.1. Composición química**

Aparentemente existen diferencias considerables en la composición química de la ceniza volante, se ha efectuado algunas críticas sobre la suma sugerida para los óxidos como elementos de plastificación de las cenizas y se ha recomendado que estas deberán ser clasificadas por su contenido de óxido de cal. La cantidad de sulfato en las cenizas puede afectar la cantidad óptima de ceniza necesaria para el desarrollo de máxima resistencia y aceptable fraguado en las mezclas de cemento portland en las que ella es aceptada.

“La norma ASTM-C-618-03 dice que la composición química debe estar acorde con los requerimientos de la tabla 1”.

Tabla 1  
*Composición Química de la Ceniza Volante.*

DESCRIPCIÓN	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> ), min. %	70	70	50
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), max. %	4	5	5
Contenido de humedad, max. %	3	3	3
Pérdida por calcinación, max. %	10	6	6

**Nota:** Fuente: Vásquez Paniagua Erick (2007) Tesis “Concreto de alto desempeño con elevado consumo de ceniza” pag. 07, Universidad Nacional de México.

### 2.2.3.2. Composición física

La fineza de cenizas volantes es controlada en muchos casos limitando la cantidad retenida en la malla N° 200 por lavado húmedo, la reactividad de las cenizas se ha encontrado que está relacionada directamente con la cantidad que pasa ese tamiz desde que las partículas más gruesas generalmente no reaccionan rápidamente con el concreto.

“La norma ASTM C 618-03 exige algunas características físicas que deben cumplir los diferentes tipos de ceniza volante, los que son de escritos en la tabla 2”.

Tabla 2  
*Características físicas que deben cumplir los diferentes tipos de ceniza volante.*

DESCRIPCIÓN	CLASE		
	N	F	C
Finura: Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 um (N° 325), máx., % A	34	34	34
Índice de actividad puzolánico: B Con cemento portland, a 7 días, min., %	75	75	75
Con cemento portland, a 28 días, min., % Demanda de agua, máx., % del control.	115	105	105
Estabilidad: D Expansión, contracción en autoclave, máx., %	0.8	0.8	0.8
Requisitos de uniformidad: Densidad, máxima variación del promedio, %	5	5	5
Porcentaje retenido en 45 um (N° 325), variación máx., puntos de % del promedio.	5	5	5

**Nota:** Fuente: Vásquez Paniagua Erick (2007) Tesis “Concreto de alto desempeño con elevado consumo de ceniza” pag. 09, Universidad Nacional de México.

### **2.2.3.3. Características principales de las cenizas volantes en el concreto**

Bolivar (1987) “De la amplia utilización de las cenizas volantes, como aditivo mineral en el concreto, se pueden enumerar las siguientes”:

- a) “Las cenizas volantes, de diferentes fábricas, pueden tener un comportamiento muy diferente en el concreto aunque ellas cumplan las especificaciones ASTM C-618”.
- b) “La misma ceniza puede tener un comportamiento diferente con los distintos cementos Portland o inclusive con un mismo cemento portland pero que provenga de diferentes fábricas”.
- c) “El efecto de las cenizas volantes puede variar con la edad del concreto. A edades tempranas la resistencia se reduce, pero a edades de 90 días, o más, la resistencia aumenta notablemente.
- d) “La ceniza volante puede tener un efecto apreciable en la cantidad de aire incluido”.
- e) “El concreto hecho con cenizas volantes es más sensible a las condiciones de curado (humedad y temperatura) que el mismo concreto con cemento portland”.
- f) “La calidad de la ceniza volante debe mejorar a medida que al concreto se le exijan mayores resistencias”.

### **2.2.3.4. Reacción química de las cenizas volantes con los componentes del cemento**

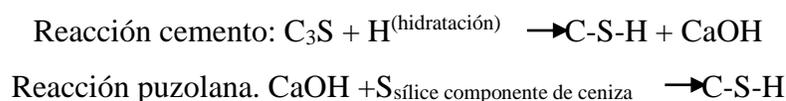
Según la Asociación de Cemento Portland PAC, (2004), “Los dos silicatos de calcio (C3S y C2S), los cuales constituyen 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos compuestos: hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (hidrato de silicato de calcio). La resistencia y otras propiedades del cemento hidratado se deben principalmente al silicato de calcio hidratado, éste es el corazón del concreto. El cemento portland hidratado contiene del 15% hasta 25% de hidróxido de calcio y aproximadamente 50% de silicato de calcio hidratado, en masa”.

Tabla 3  
*Reacciones de hidratación de los silicatos de cemento portland.*

$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	+	$\text{H}_2\text{O}$	=	$\text{C-S-H}$	+	$\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$
Silicato tricálcico		agua		Silicato de calcio hidratado		Hidróxido de calcio
$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$	+	$\text{H}_2\text{O}$	=	$\text{C-S-H}$	+	$\text{CaO} \cdot \text{H}_2\text{O}$
Silicato dicálcico		agua		Silicato de calcio hidratado		Hidróxido de calcio

**Nota:** Fuente: (PCA, 2004 “Asociación de Cemento Portland”)

Uno de los principales beneficios de las cenizas volantes es la reacción con el hidróxido de calcio (CaOH) en el concreto, es la producción de componentes cementantes adicionales. La siguiente ecuación ilustra la reacción de la puzolana reemplazada por las cenizas volantes con la cal, para producir adicionalmente hidrato de silicato de calcio (C-S-H).



Según ACAA (2003), “La reacción adicional que se produce producto de la reacción de las cenizas volantes con la cal disponible permite que el concreto con ceniza volante continúe ganado dureza durante el tiempo”.

#### 2.2.4. Cemento

Rivva (2010) “Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos”.

##### 2.2.4.1. Cemento portland normal

Abanto (1994) “El cemento portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual cuando se mezcla con agua, ya sea solo o en combinación con arena, piedra u otros materiales similares, tiene la propiedad de reaccionar con el agua hasta formar una masa endurecida”.

**Definición del clinker:**

Rivva (2010) “El clinker es fabricado mediante un proceso que comienza por combinar una fuente de cal (Oxido Calcico, CaO del 60% al 67%), tal como las calizas; una fuente de sílice y alúmina (Anhídrido silícico, SiO<sub>2</sub> del 17% al 25% y Oxido aluminio, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> del 3% al 8%), tal como las arcillas; y una fuente de óxido de hierro (Oxido férrico, Fe<sub>2</sub>O<sub>2</sub> del 0.5% al 6%), tal como el mineral de hierro”.

Rivva (2010) “Una mezcla adecuadamente dosificada de los materiales crudos es finamente molida y luego calentada a una temperatura suficientemente alta, alrededor de los 1500°C, a fin de que se produzcan las reacciones entre los componentes del cemento, el producto obtenido del horno es conocido como el Clinker de cemento Portland. Después de enfriado, el Clinker es molido con una adición de cerca del 6% de sulfato de calcio (Yeso) para formar el cemento portland”.

**2.2.4.1.1. Clasificación del cemento portland**

Abanto (1994) “Los cementos portland, se fabrican en cinco tipos cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de Normas para el cemento Portland ASTM C 150”.

TIPO I: Es el cemento destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifica la utilización de los otros 4 tipos de cemento.

TIPO II: Es el cemento destinado a obras de concreto en general y a obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiere moderado calor de hidratación

TIPO III: Es el cemento de alta resistencia inicial, el concreto hecho con este tipo de cemento desarrolla una resistencia en tres días igual a la desarrollada en 28 días por concretos hechos con cementos tipo I o tipo II.

TIPO IV: Es el cemento del cual se requiere bajo calor de hidratación.

TIPO V: Es el cemento del cual se requiere alta resistencia a la acción de los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras hidráulicas expuestas a aguas con alto contenido de álcalis y estructuras expuestas a aguas de mar.

Rivva (2010) “En el Perú se utilizan los cementos tipo I, II y V. La Norma ASTM C 150 o NTP 339.009 incluye especificaciones para un cemento con incorporador de aire, el cual no se producen ni se utiliza en el Perú”.

Según la PCA (2004), “Los cementos adicionados usan una combinación de cemento portland o clinker y yeso mezclados o molidos juntamente con puzolanas, escorias o ceniza volante. La ASTM C 595 establece cinco clases principales de cementos adicionados:”

Tipo IS	Cemento portland alto homo.
Tipo IP y Tipo P	Cemento Portland puzolánico.
Tipo I (PM)	Cemento portland modificado con puzolana.
Tipo S	Cemento de escoria o siderúrgico.
Tipo I (SM)	Cemento portland modificado con escoria.

#### **2.2.4.2. Cemento portland puzolánico**

Según la PCA (2004) “Los cementos portland puzolánicos se designan como tipo IP o tipo P. El tipo IP se lo puede usar para la construcción en general y el tipo P se usa en construcciones que no requieran altas resistencias iniciales”.

Continuando con la PCA, “Se fabrican estos cementos a través de la molienda conjunta del clinker de cemento portland con una puzolana adecuada, o por el mezclado de cemento portland o cemento de alto homo con puzolana, o por la combinación de la molienda y del mezclado. El contenido de puzolana de estos cementos está entre 15% y 40% de la masa del cemento. Los ensayos de laboratorio indican que el desempeño de los concretos preparados con el cemento tipo IP es similar mas no igual al concreto del cemento tipo I”.

La puzolana empleada en la fabricación de cementos es aquel material que posee propiedades puzolánicas es decir como aptitud para fijar hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando en presencia de agua, compuestos que poseen propiedades hidráulicas. Debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 595.

Las puzolanas pueden ser naturales (tierra de acaloradas, rocas opalinas, esquistos, cenizas volcánicas, pumitas, etc.), material calcinado (los anterior mencionados y algunos como arcillas y esquistos más comunes) y material artificial (óxido de silicio precipitado y cenizas volantes).

#### 2.2.4.2.1. Compuestos principales

“Como el cemento es una mezcla de muchos compuestos, resulta impráctica su representación con una fórmula química. No obstante hay cuatro compuestos que constituyen más del 90% del peso del cemento, y son:”

Silicato tricálcico (BCaO.SiO <sub>2</sub> )	= C3S
Silicato dicálcico (2Ca.SiO <sub>2</sub> )	= C2S
Aluminato tricálcico (SCa.AbOs)	= C3A
Alumino ferrita tricálcica (4Ca. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	= C4AF

Abanto (1994) “Cada uno de los cuatro compuestos principales del cemento portland contribuye en el comportamiento del cemento, cuando pasa del estado plástico al endurecido después de la hidratación”.

A continuación se describirá como influyen estos compuestos en el concreto: (Rivva, 2010)

#### **Silicato Tricálcico SCaO.SiO<sub>2</sub> (C3S)**

El cemento endurece más rápidamente y alcanza resistencias más elevadas fundamentalmente por la combinación cal-sílice conocido como Silicato tricálcico. Es el más importante de los compuestos minerales del Clinker, El C<sub>3</sub>S produce una gran velocidad de hidratación, lo que favorece un rápido endurecimiento del cemento, sus características hidráulicas son excelentes, su calor de hidratación completa en 120 cal/gr.

Debido a esta capacidad de generación de calor, así como su velocidad de endurecimiento rápida, los cementos ricos en silicato tricálcico son muy recomendables para operaciones de concretado en zonas de baja temperatura, a la vez estos concretos no son muy recomendables para operaciones de concretado en construcciones masivas, por ejemplo presas, por el peligro de figuración del concreto, en climas cálidos deben tomarse precauciones si se emplean estos cementos, igualmente no son recomendables cuando se va a emplear altos contenidos de cemento por unidad de volumen.

### **Silicato Dicálcico $2Ca.SiO_2$ (C<sub>1</sub>S)**

El silicato dicálcico tiene una lenta velocidad de hidratación y endurecimiento, lo que le caracteriza como principal constituyente de los cementos de endurecimiento lento, se estima su calor de hidratación completa en 62 cal/gr.

La contribución del C<sub>2</sub>S a la resistencia en las primeras edades es muy pequeña, posteriormente es la fuente principal del desarrollo de resistencia, la resistencia del concreto a los ciclos de congelación y deshielo tiende a mejorar conforme aumenta el porcentaje de los silicatos cálcicos del cemento.

Los cementos ricos en silicato dicálcico son químicamente más estables y más resistentes al ataque por sulfates, además son adecuados en construcciones masivas; en climas cálidos; y en todos aquellos casos en que no sea de interés primordial el conseguir grandes resistencias a corto plazo.

### **Aluminato Tricálcico $3Ca.AbO_3$ (C<sub>3</sub>A)**

El contenido de C<sub>3</sub>A de los cementos enfriados rápidamente es considerablemente más bajo que el de los clínkeres de la misma composición enfriados lentamente. Después de los álcalis, los aluminatos son los compuestos de cemento que primero reaccionan con el agua. Su fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy grande, hasta el punto de ser casi instantáneo, se estima que su calor de hidratación completa en 207 cal/gr, para controlar esta velocidad de hidratación obliga la adición de sulfato de calcio al Clinker durante el proceso de molienda de este último.

El C<sub>3</sub>A contribuye al desarrollo de la resistencia durante las primeras 24 horas, posteriormente su aporte a la resistencia es prácticamente nula. La resistencia del concreto a los ciclos de congelación y deshielo tiende a disminuir con aumentos en el contenido de C<sub>3</sub>A. El C<sub>3</sub>A es muy sensible a las aguas sulfatadas, aguas que contienen cloruros; en altos contenidos de sulfatos se recomienda valores a C<sub>3</sub>A máximos del 5%.

Los cementos ricos en C<sub>3</sub>A y C<sub>3</sub>S dan elevadas resistencias a corto plazo pero tienen el inconveniente, en general, de una menor resistencia a los agentes agresivos que aquella que presentan los cementos ricos en silicato dicálcico.

#### **Alumino Ferrita Tricálcica 4Ca. AUOj.FeiOa (C4AF)**

El calor desarrollado por el C<sub>4</sub>AF es muy bajo, estimándose su calor de hidratación completa de 100 cal/gr. Su papel en las resistencias mecánicas no está definido aunque se estima que tiene efecto muy pequeño en cualquier periodo.

Los cementos ricos en C<sub>4</sub>AF tienen condiciones de empleo específicas en todos aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.

#### **2.2.4.2.2. Compuestos secundarios**

Rivva (2010), “Los cuatro compuestos principales del Clinker suponen del 90% al 95% del total. El porcentaje restante corresponde a los llamados compuestos secundarios, los cuales pueden agruparse en:”

#### **Óxido de Cal libre (CaO)**

La cal libre, o cal combinada es una cal calcinada a muy alta temperatura y en consecuencia, su hidratación transcurre lentamente, la cal libre del clinker y/o cemento portland es una componente accidental, el cual puede ser por:

- Una combinación imperfecta de la cal con otros materiales por inadecuada cocción del clinker.

- Defectos de dosificación, homogenización o cocción del crudo; o inadecuada finura del mismo.
- Deficiencias de enfriamiento del clinker a la salida del horno.

La cal libre, en presencia de agua o sustancias ácidas, forma sales de calcio las cuales dan origen a expansiones, agrietamientos y desmoronamiento del concreto.

El contenido de cal libre debe ser inferior a 2%.

### **Óxido de magnesio (MgO)**

El óxido de magnesio, o magnesia, presente en el clinker, es una sustancia que frecuentemente acompaña al óxido de calcio. Puede provenir tanto de las materias primas calizas como de las arcillosas. El óxido de magnesio es un factor determinante de la calidad del cemento portland. Cuando la cantidad de MgO es superior al 5% en el clinker, el cemento puede ser expansivo, cuando este contenido está por debajo del 2.5% las expansiones son bajas.

El proceso de hidratación de la magnesia es lento, ensayos de laboratorio indican que los cementos con contenido de óxido de magnesio elevado alcanzan sus máximas expresiones en un periodo de uno a diez años. Aún después de cinco años en agua el óxido de magnesia de algunos cementos no ha llegado a hidratarse totalmente.

El óxido de magnesio en contacto con el agua, se hidrata y aumenta de volumen. Esta expansión es más peligrosa cuando se manifiesta con gran lentitud en concretos ya fraguados y endurecidos, como fenómenos de dilatación y agrietamiento del concreto en una acción a largo plazo.

### **Óxidos de sodio y potasio**

Conocidos también como álcalis, son acompañantes inevitables de la materia prima del cemento, especialmente de la arcillosa, la norma ASTM C150 indica que el cemento portland normal no deberá contener más del 0.6% de álcalis en peso del cemento.

El óxido de sodio como el de potasio son elementos indeseables en el cemento; Si bien son inofensivos en pequeñas concentraciones, cuando sobrepasan de determinados porcentajes de óxidos de sodio y potasio pueden ser nocivos por su capacidad de reaccionar con determinados compuestos presentes en algunos agregados. Esta reacción da origen a expansión con destrucción del concreto.

### **Pérdida por calcinación**

Se entiende por pérdida de calcinación a la disminución de peso experimentada por una muestra de cemento la cual ha sido calentada a una temperatura de 1000°C. La pérdida de peso se debe a que durante el calentamiento se liberan vapor de agua y anhídrido carbónico.

Teóricamente un Clinker adecuadamente cocido no debería experimentar pérdidas por calcinación, sin embargo, las pérdidas observadas son mayores debido a que durante el proceso de almacenamiento del Clinker puede absorber humedad del mismo ambiente, el yeso añadido además de su humedad de cantera contiene 21% de agua químicamente combinada.

Según las normas ASTM C 150 correspondientes NTP “El cemento debe tener una pérdida de calcinación máxima del orden 3% para todos los tipos de cemento portland, exceptuando el Tipo V cuya pérdida por calcinación máxima es de 2.3%. Se estima que pérdidas mayores que las indicadas son un índice de desarrollo de un proceso de hidratación que hace perder al cemento sus cualidades hidráulicas y perjudican sustancialmente el desarrollo de resistencia en relación con la edad”.

### **Anhídrido sulfúrico SO<sub>3</sub>**

Es un componente muy importante en el cemento, se presenta en pequeños porcentajes, este elemento proviene del yeso (CaSO<sub>4</sub> Sulfato de calcio) añadido al clinker. La adición de yeso al Clinker de cemento portland se hace con la finalidad de regular el tiempo de fraguado, pero si se añade demasiado se corre el peligro que se presenten expansiones por acción del yeso.

Es sabido que el  $C_3A$ , en contacto con el agua, fragua en forma prácticamente instantánea, no obstante que el contenido de  $C_3A$  en el cemento induce al fraguado rápido, una pequeña adición de yeso elimina el inconveniente citado. La norma ASTM C150 limita el contenido de anhídrido sulfúrico de los cementos portland normales a un máximo el cual está en relación con el contenido de  $C_3A$ :

- a) Si el contenido de  $C_3A$  es de 8% o menor, la norma admite un contenido máximo de  $SO_3$  de:
  - 2.5% para cementos portland Tipo I y II.
  - 2.3% para cementos portland Tipo V.
- b) Si el contenido de  $C_3A$  es más del 8%, la norma admite un contenido máximo de  $SO_3$  de:
  - 3% para cementos portland Tipo 1.

### **2.2.5. Agua**

El agua presente en la mezcla de concreto reacciona químicamente con el material cementante para lograr:

- La formación de gel.
- Permitir que el conjunto de la masa de concreto adquiera las propiedades que:
  - En estado no endurecido faciliten una adecuada manipulación y colocación de la misma.
  - En estado endurecido se convierta en un producto de la-s propiedades y características deseadas.

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, se podrá emplear como aguas de mezclado aquellas que se consideren potables, o las que por experiencia se conozcan que pueden ser utilizadas en la preparación del concreto.

#### **2.2.5.1. Requisitos que debe cumplir el agua**

Empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la NTP 339.088, y ser de preferencia potable.

Tabla 4  
*Requisitos para el agua mezcla.*

<b>SUSTANCIAS DISUELTAS</b>	<b>VALOR MÁXIMO ADMISIBLE</b>
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de Magnesio	150 ppm
Sales solubles	150 ppm
PH <sup>4</sup>	mayor de 7
Sólidos en suspension	1500 ppm
Materia Orgánica	10 ppm

**Nota:** Fuente: NTP 339.088

La NTP 339.088 distingue cuatro tipos de agua utilizable para el concreto:

- Agua combinada, la cual es el resultado de la mezcla de dos o más fuentes combinadas a la vez, antes o durante su introducción en la mezcla para utilizarla como agua de mezcla.
- Agua no potable, la cual proviene de fuentes de agua que no son aptos para el consumo humano, o si contienen cantidades de sustancias que la decolorano hacen que huelo o tenga un sabor objetante.
- Aguas en las operaciones de producción del concreto, que ha sido recuperada de procesos de producción de concreto de cemento Portland; agua de lluvia colectada; o agua que contiene ingredientes del concreto.
- Agua potable que es apta para el consumo humano.

#### **2.2.6. Agregados**

Rivva (2010) “El concreto está conformado por una pasta de cemento y agua en la cual se encuentran embebidas partículas de un material conocido como agregado el cual ocupa del 65% al 80% del volumen de la unidad cubica de concreto”.

Rivva (2010) “Los agregados también son llamados áridos, que se combinan con los aglomerantes (cemento, cal, etc.) y el agua formando los concretos y morteros, es importante que los agregados tengan buena resistencia, durabilidad y resistencia a los elementos, que su superficie esté libre de impurezas como barro, limo y materia orgánica, que puedan debilitar el enlace con la pasta cemento”.

Se clasifican en:

1) Agregados Finos

- Arena fina
- Arena gruesa

2) Agregados Gruesos

- Grava
- Piedra

3) Hormigón: corresponde a mezcla natural de Grava y Arena, este agregado se utiliza para preparar un concreto de baja calidad como el empleado en cimentaciones corridas, sobrecimientos, falsos pisos, falsas zapatas, calzaduras, algunos muros, etc. El emplear el hormigón en la elaboración del concreto este deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas blandas o escamosas, sales, álcalis, materia orgánica u otras sustancias dañinas para el concreto.

Rivva (2010) "Si se emplea, con autorización del proyectista, el agregado integral denominado "Hormigón" deberá cumplirse con lo indicado en el acápite anterior de la Norma Técnica E.060".

#### **2.2.6.1. Agregado fino**

Abanto (1994) "Se considera como agregado fino a la arena o piedra natural finamente triturada de dimensiones reducidas, que pasan por el tamiz 3/8" (9.52mm) y que es retenida en el tamiz N°200 (0.074mm) NTP400.037".

Sin embargo el manual de ensayo de materiales (EM 2000) del MTC E 204-2000, "el cual está basado según a las normas ASTM 136 y AASHTO T 27, los mismos que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad. Este Manual indica que para mezclas de agregados gruesos y finos la muestra será separado en dos tamaños, por el tamiz 4.75mm (N°4). Por lo tanto, para ta presente investigación, se manejará al tamiz N°4 para separar el agregado grueso y fino".

### **2.2.6.1.1. Granulometría (NTP 400.012)**

El conocimiento de la composición granulométrica del agregado nos permite conocer la distribución de tamaños en función a sus volúmenes, pero representados en este ensayo en función a sus pesos retenidos en mallas, cuyas aberturas difieren sucesivamente en la mitad de la anterior.

Estas partículas deberán tener un comportamiento óptimo en la mezcla, y esto solo se obtendrá si sus volúmenes llegan a tener una buena compacidad entre ellas, conociendo que el agregado grueso aporta con su resistencia y su volumen, y el agregado fino actúa como lubricante para la suspensión de los agregados gruesos en la mezcla, aportando en mejorar la consistencia y la trabajabilidad de la mezcla.

Por lo que concluimos que una granulometría óptima origina en la mezcla una alta densidad, buena trabajabilidad y un óptimo contenido de cemento. En general se considera que las granulometrías sean continuas, es decir aquellas en las que el tamaño de las partículas varía del más fino al más grueso siguiendo una ley uniforme, son las más satisfactorias, no siendo deseable que en cada tamiz sean retenidos porcentajes iguales.

La experiencia ha demostrado que es posible obtener concretos de calidad empleando agregados con granulometrías discontinuas; es decir excluyentes de determinados tamaños de agregados, siendo la principal desventaja de estas la posibilidad de una mayor segregación, la corrección de la granulometría del agregado fino por tamizado y recombinación, puede ser costosa e impracticable, para el agregado grueso puede ser fácilmente realizada.

Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas: N° 4 a N° 10.
- El agregado no deberá retener más de 45% en dos tamices consecutivos cualquiera.
- En general es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites.

Tabla 5  
Requisitos granulométricos para el agregado fino

TAMIZ MALLA	PORCENTAJE QUE PASA
9.5mm (3/8 pulg)	100
4.75 mm (N° 4)	95 a 100
2.36 mm (N° 8)	80 a 100
1.18 mm (N° 16)	50 a 85
600 um (N° 30)	25 a 60
300 um(N° 50)	05 a 30
150 um (N° 100)	0 a 10

**Nota:** Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037

Con los datos de la tabla 5, dibujamos la curva envolvente, la cual se muestra en la siguiente figura:

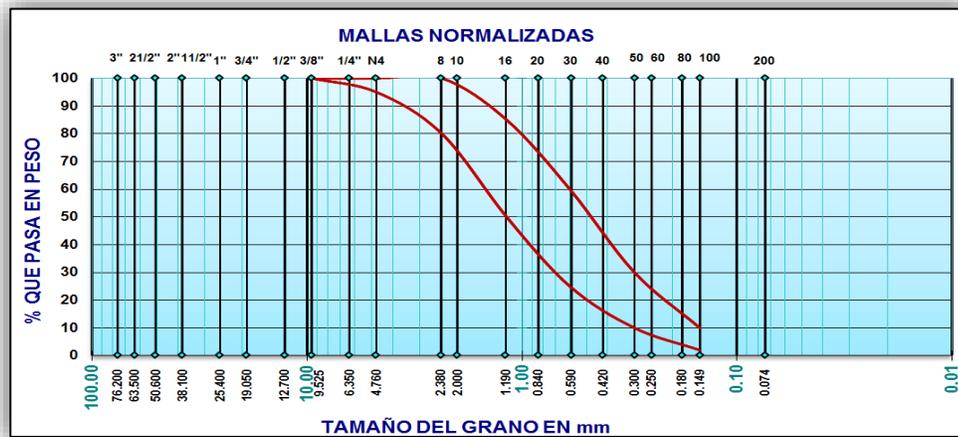


Figura 2. Curvas envolventes para el agregado fino, según norma NTP 400.037.  
Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.6.1.2. Módulo de fineza (NTP 400.011)

Criterio establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizado.

Según la norma ASTM “establece que el agregado fino (arena) debe tener un módulo de finura entre 2.30 - 3.10, donde el valor más alto indica una gradación más gruesa”.

“Se estiman que las arenas comprendidas entre los módulos 2.2 - 2.8 producen concretos de buena trabajabilidad y reducida segregación; y las que se encuentran entre 2.8 y 3.1 son las más favorables para los concretos de alta resistencia”.

Abanto (1994) “El módulo de finura se obtiene a través de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N° 50, N°100 dividida entre 100”.

$$MF = \frac{\sum \% \text{Acumulados Retenidos ( 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N° 50, N°100)}}{100}$$

#### **2.2.6.1.3. Contenido de humedad (NTP 400.016)**

Es la cantidad de agua que posee el material en estado natural, es importante porque puede hacer variar la relación agua/cemento del diseño de mezcla y por tanto influye en la resistencia y otras propiedades del concreto.

$$\text{Contenido de Humedad} = \frac{\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}}$$

#### **2.2.6.1.4. Peso específico (NTP 400.022)**

Tufino (2009) “La norma técnica peruana, establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado fino”.

El peso específico de los agregados expresa el peso de las partículas de agregado relacionado a un volumen igual de agua, sin considerar los vacíos entre ellas. Su valor para agregados normales oscila entre 2500 y 2750 kg/m<sup>3</sup>.

Calla (2013) “Esta propiedad es útil para la dosificación del concreto, al incidir principalmente en el cálculo de los volúmenes absolutos de los agregados”.

### 2.2.6.1.5. Absorción (NTP 400.022)

Este ensayo nos permite determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua).

Tufino (2009) “Según la NTP, la absorción es la cantidad de agua absorbida por el agregado sumergido en el agua durante 24 horas. Se expresa como un porcentaje del peso del material seco, que es capaz de absorber, de modo que se encuentre el material saturado superficialmente seco”.

Calla (2013) “Si la humedad es inferior a la absorción, se deberá agregar más agua al concreto para compensar la que absorberán los agregados. Por el contrario, si la humedad supera la absorción, habrá que quitar agua al concreto ya que los agregados estarán aportando agua”.

#### **Peso específico de los solidos**

$$P.e.s = \frac{W_o}{(V - V_o)}$$

Donde

P.e.s : Peso específico de sólidos.

W<sub>o</sub> : Peso en el aire de la muestra secada en el homo, en gramos.

V : Volumen del frasco cm<sup>3</sup>

V<sub>o</sub> : Peso en gramos o volumen en cm<sup>3</sup> de agua añadida en el picnómetro.

#### **Peso específico de solidos saturado con superficie seca**

$$P.e.SSS = \frac{500}{(V - V_o)}$$

#### **Peso específico aparente**

$$P.e.a = \frac{W_o}{(V - V_o) - (500 - W_o)}$$

#### **Absorción**

$$\%Absorción = \frac{500 - W_o}{W_o} \times 100$$

### 2.2.6.1.6. Peso unitario (NTP 400.017)

Calla (2013) “El peso unitario o peso aparente del agregado, es el peso que alcanza determinado volumen unitario. El peso unitario está influenciado por: la gravedad específica, granulometría, perfil y textura superficial, contenido de humedad, y de factores externos como: grado de compactación impuesto, diámetro nominal máximo en relación con el volumen”.

Tufino (2009) “Es el cociente de dividir, el peso de las partículas del agregado entre el volumen de las mismas, considerando los vacíos entre ellas (volumen aparente). Generalmente se expresa en kilos por metro cúbico. Su determinación en el laboratorio no siempre corresponde al que se obtiene en condiciones de obra, ya que varía según las condiciones intrínsecas del agregado como: su forma, su granulometría y tamaño máximo con el volumen del recipiente, la forma de colocación”.

Existen 2 tipos de pesos unitarios:

a) **Peso Unitario Suelto: (P.U.S.)**

En este ensayo se busca determinar el peso del agregado que llenaría un recipiente de volumen unitario. Se usa el término "Peso volumétrico unitario" porque se trata del volumen ocupado por el agregado y por los huecos. Este peso se utiliza para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen.

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

b) **Peso Unitario Compactado: (P.U.C.)**

Es la relación entre el peso del material compactado y el volumen del recipiente que lo contiene. Este ensayo nos puede determinar el grado de compactación que pueden presentar los materiales en su estado natural. Todos los agregados presentan distinta proporción entre el peso unitario compactado con el peso unitario suelto.

$$P.U.C = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

### 2.2.6.2. Agregado grueso

Es el agregado que queda retenido en el tamiz N°4 (4.75mm) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumplen con los límites establecidos en la norma NTP 400.037 o ASTM C33. El agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc.

#### a) Gravav

Comúnmente llamados "*Canto Rodado*", es el conjunto de fragmentos pequeños de piedra, provenientes de la desintegración natural de las rocas, por acción del hielo y otros agentes atmosféricos, encontrándoseles corrientemente en canteras lechos de ríos depositados en forma natural.

Cada fragmento ha perdido sus aristas vivas y se presentan en formas más o menos redondeadas”.

Las gravas pesan de 1600 a 1700 kg/m<sup>3</sup> (Abanto, 1994).

#### b) Piedra partida o chancada

Abanto (1994) “Se denomina así al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea limpia, dura y resistente. Su función principal es dar volumen y apoyar su propia resistencia. Los ensayos indican que la piedra chancada o partida da concretos ligeramente más resistentes que los hechos con piedra redonda”.

Para la presente investigación se utilizará el agregado grueso procedente de la cantera "Surupana".

Calla (2013) “El agregado de esta cantera es de origen sedimentario, donde la acción erosiva de las aguas pluviales, la fuerza hidráulica y el acarreo de estos minerales, nos proporcionan un agregado de forma redondeada, denominados de canto rodado”.

### **2.2.6.2.1. Granulometría (NTP 400.012)**

Calla (2013) “Denominado también análisis granulométrico, viene a ser la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños. Si un agregado no está dentro del huso granulométrico se puede ajustar separando el material pasándolo por una malla intermedia en las proporciones debidas. No interesa que las curvas estén fuera del huso granulométrico, lo que importa es que la combinación cumpla, ya que en definitiva es la que condiciona el resultado de la mezcla, para esto es preferible que no esté muy desfasado del huso granulométrico”.

#### **Limites granulométricos**

Huincho (2011) “Los límites granulométricos (Husos) que recomienda la NTP 400.037 para el agregado grueso se detallan de acuerdo a la tabla 6, en donde se observa 15 límites granulométricos”.

Tabla 6

Limites granulométricos para el agregado grueso

N° ASTM	TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100mm (4 Pulg)	90mm (3 1/2 pulg)	75mm (3 Pulg)	63 mm (2 1/2 Pulg)	50 mm (2 Pulg)	37.5mm (1 1/2 Pulg)	25mm (1 Pulg)	19mm (3/4 Pulg)	12.5mm (1/2 Pulg)	9.5mm (3/8 Pulg)	4.75 mm (N° 4)	2.36m m (N° 8)	1.18mm (N° 16)	4.75um (N° 50)
1	90mm a 37.5mm (3 1/2 Pulg a 1 1/2 Pulg)	100	90 a 100	0	25 a 50	0	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0	0	0
2	63mm a 37.5mm (2 1/2 Pulg a 1 1/2 Pulg)	0	0	100	9 a 100	35 a 70	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0	0	0
3	50mm a 25mm (2 Pulg a 1 Pulg)	0	0	0	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0	0
357	50mm a 4.75mm (2 pulg a N° 4)	0	0	0	100	95 a 100	0	35 a 70	0	10 a 30	0	0 a 5	0	0	0
4	37.5mm a 19mm (1 1/2 pulg a 3/4 Pulg)	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0
467	37.5mm a 4.75mm (1 1/2 pulg a N° 4)	0	0	0	0	100	95 a 100	0	35 a 70	0	10 a 30	0 a 5	0	0	0
5	25mm a 12.5mm (1 Pulg a 1/2 Pulg)	0	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	0	0	0	0
56	25mm a 9.5mm (1 Pulg a 3/8 Pulg)	0	0	0	0	0	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	0	0	0
57	25mm a 4.75mm (1 Pulg a N° 4)	0	0	0	0	0	100	95 a 100	0	25 a 60	0	0 a 10	0 a 5	0	0
6	19mm a 9.5mm (3/4 Pulg a 3/8 Pulg)	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	0	0	0
67	19mm a 4.75mm (3/4 Pulg a N° 4)	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	0	20 a 55	0 a 10	0 a 5	0	0
7	12.5mm a 4.75mm (1/2 Pulg a N° 4)	0	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	0	0
8	9.5mm a 2.36mm (3/8 pulg a N° 8)	0	0	0	0	0	0	0	0	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	0
89	9.5mm a 1.18mm (3/8 pulg a N° 16)	0	0	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5
9	4.75mm a 1.18mm (N° 4 a N° 16)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5

Nota: Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

#### **2.2.6.2.2. Tamaño máximo**

De acuerdo a la norma NTP 400.037 “define al Tamaño Máximo del agregado grueso como aquel que "corresponde al menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso”.

Quevedo (2013) El tamaño máximo del agregado grueso viene a ser el tamaño de la abertura del tamiz que deja pasar todo el agregado. Granulometrías muy distintas pueden dar el mismo valor del tamaño máximo del agregado grueso. Ello debe tenerse en presente en la selección del agregado, de su granulometría y de las proporciones de la mezcla.

#### **2.2.6.2.3. Tamaño máximo nominal**

De acuerdo a la norma NTP 400.037 “define al Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso como aquel que "corresponde el menor tamiz de la serie utilizada que produce el primer retenido”.

Quevedo (2013) “El tamaño máximo nominal del agregado grueso viene a ser tamaño de la abertura del tamiz que produce el primer retenido del agregado”.

“Según la Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado, el Tamaño Máximo Nominal de agregado grueso no debe ser superior a ninguna de:”

- a)  $1/5$  de la menor separación entre los lados del encofrado, en el caso de ser 25cm la separación el recubrimiento será de 4cm.
- b)  $1/3$  de la altura de la losa, de ser el caso que mida 20cm su recubrimiento será de 6cm.
- c)  $3/4$  del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

Estas limitaciones se pueden omitir si se demuestra que la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto se puede colocar sin la formación de vacíos o "cangrejeras".

### **Discrepancia entre el Tamaño Máximo y Tamaño Máximo Nominal**

Es pertinente distinguir entre el tamaño máximo efectivo y el que se designa como tamaño máximo nominal.

El primero se identifica con la malla de menor abertura en que alcanza a pasar efectivamente el total de las partículas del conjunto, cuando se le criba sucesivamente en mallas cuyas aberturas se incrementan gradualmente. La determinación de este tamaño máximo es necesaria cuando se analizan granulométricamente muestras representativas de depósitos naturales, a fin de conocer el tamaño máximo disponible en el depósito en estudio; y su verificación es una medida de control indispensable durante el suministro del agregado grueso ya clasificado, previamente a su empleo en la fabricación del concreto, para prevenir que se le incorporen partículas mayores de lo permitido, que pueden ocasionar dificultades en su elaboración, manejo y colocación.

Gómez (2009) “El tamaño máximo nominal del agregado es el que se designa en las especificaciones como tamaño máximo requerido para el concreto de cada estructura en particular, y se define de acuerdo con diversos aspectos tales como las características geométricas y de refuerzo de las estructuras, los procedimientos y equipos empleados para la colocación del concreto, el nivel de la resistencia mecánica requerida en el concreto, etc. Debido a la dificultad práctica de asegurar una dimensión máxima precisa en el tamaño de las partículas durante la clasificación y el suministro del agregado grueso, es usual conceder una tolerancia dimensional con respecto al tamaño máximo nominal, pero limitando la proporción de partículas que pueden excederlo. De esta manera, no basta con especificar el tamaño máximo nominal, sino que también es necesario definir el tamaño máximo efectivo permisible y la proporción máxima de partículas que puede admitirse entre el tamaño máximo nominal y el efectivo, es decir, lo que constituye el sobre tamaño nominal tolerable”.

Tabla 7  
*Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso.*

<b>Tamaño Máximo Nominal Aberturas cuadradas mm (pulg)</b>	<b>Cantidad de la muestra de ensayo mínimo Kg (lb)</b>
9.5 mm (3/8")	1 kg (2 lb)
12.5 mm (1/2")	2 kg (4 lb)
19 mm (3/4)	5 kg (11 lb)
25 mm (1")	10 kg (22 lb)
37.5 mm (1 1/2")	15 kg (33 lb)
50 mm (2")	20 kg (44 lb)
63 mm (2 1/2")	35 kg (77 lb)
75 mm (3")	60 kg (130 lb)
90 mm (3 1/2")	100 kg (220 lb)
100 mm (4")	150 kg (330 lb)
125 mm (5")	330 kg (660 lb)

**Nota:** Fuente: Norma Técnica Peruana 400.012

#### **2.2.6.2.4. Módulo de fineza (NTP 400.011)**

Abanto (1994) “Es un índice aproximado del tamaño medio de los agregados. Cuando este índice es bajo quiere decir que el agregado es fino, cuando este índice es alto es señal de lo contrario. El módulo de fineza, no distingue las granulometrías, pero en caso de agregados que estén dentro de los porcentajes especificados en las normas granulométricas, sirve para controlar la uniformidad de los mismos”.

Abanto (1994) “El módulo de fineza del agregado grueso, es menos usado que el de la arena, para su cálculo se usa el mismo criterio que para la arena, o sea se suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 dividida entre 100”.

#### **2.2.6.2.5. Contenido de humedad (NTP 400.016)**

Es la cantidad de agua que posee el material en estado natural, es importante porque puede hacer variar la relación agua/cemento del diseño de mezcla y por tanto influye en la resistencia y otras propiedades del concreto.

$$\text{Contenido de humedad} = \frac{\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco}}{\text{Peso Seco}}$$

El procedimiento para el cálculo del contenido de humedad es similar a lo realizado para el agregado fino.

#### **2.2.6.2.6. Peso específico (NTP 400.021)**

Tufino (2009) “El peso específico del agregado grueso es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desplazada por inmersión). Se usa en ciertos cálculos para proporcionamiento de mezclas y control. El valor del peso específico para agregados normales oscila entre 2 500 y 2 750 kg/m<sup>3</sup>”.

El peso específico es un indicador de calidad, en cuanto a los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

Rivva (2000) “La norma ASTM C 128 considera tres tipos de expresión del peso específico”.

- **Peso específico de masa:** El cual es definido por la norma ASTM E 12, como la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales del material) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua libre de gas.
- **Peso específico de masa saturado superficialmente seco;** el cual es definido como como el mismo que el peso específico de masa, excepto que ésta incluye el agua en los poros permeables.
- **Peso específico aparente;** el cual es definido como la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de un material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

En las determinaciones del peso sólido y el volumen absoluto, así como en la selección de las proporciones de la mezcla, se utiliza el peso específico de masa.

Las características de los agregados se determinan por las siguientes formulas:

$$\text{Peso Especifico de Masa} = \frac{A}{(A - C)}$$

$$\text{Peso Especifico Aparente} = \frac{A}{(B - C)}$$

$$\text{Peso Especifico SSS} = \frac{B}{(B - C)}$$

Donde

Pesos específicos en gr/cm<sup>3</sup>.

A : Peso de la muestra seca, en gramos.

B : Peso de la muestra saturada superficialmente seca (SSS), en gramos.

C : Peso de la muestra sumergida en agua, en gramos.

#### **2.2.6.2.7. Absorción (NTP 400.021)**

Se entiende por absorción, al contenido de humedad total interna de un agregado que está en la condición de saturado superficialmente seco.

Rivva (2000) “La capacidad de absorción del agregado se determina por el incremento de peso de una muestra secada al horno, luego de 24 horas de inmersión en agua y secado superficial. Esta condición se supone representa la que adquiere el agregado en el interior de una mezcla de concreto”.

El porcentaje de absorción se determina por la siguiente relación:

$$\% \text{ Absorción del agregado grueso} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde

A : Peso de la muestra seca, en gramos.

B : Peso de la muestra saturada superficialmente seca (SSS), en gramos.

#### **2.2.6.2.8. Peso unitario (NTP 400.017)**

Se denomina peso volumétrico o peso unitario del agregado, ya sea suelto o compactado, el peso que alcanza un determinado volumen unitario. Generalmente se expresa en kilos por metro cúbico del material. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y en el caso de dosificarse el concreto por volumen.

Rivva (2000) “Los agregados redondeados de textura suavizada tienen, generalmente, un peso unitario más alto que las partículas de perfil angular y textura rugosa, de la misma composición mineralógica y granulometría”.

El peso unitario suelto o compactado para el agregado grueso el procedimiento es el mismo obtenido para el agregado fino, en donde:

a) Peso Unitario Suelto: (P.U.S.)

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del Material}}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

b) Peso Unitario Compactado: (P.U.C.)

$$P.U.C = \frac{\text{Peso del Material Compactado}}{\text{Volumen del Recipiente}}$$

#### **2.2.7. Concreto en estado fresco**

##### **2.2.7.1. Trabajabilidad (Asentamiento)**

Es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser mezclado, colocado, compactado y acabado sin segregación y exudación durante estas operaciones.

Abanto (1994) “La consistencia está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla, depende principalmente de la cantidad de agua utilizada, el equipo necesario para realizar la consistencia del concreto consiste en un tronco de cono, los dos círculos de las bases son paralelos entre si midiendo 20 cm y 10 cm los diámetros respectivos, la altura del molde es de 30 cm”.

Tabla 8  
*Clases de mezclas y su asentamiento.*

<b>Consistencia</b>	<b>Slump</b>	<b>Trabajabilidad</b>	<b>Método de Compactación</b>
Seca	0" a 2"	Poco trabajable	Vibración Normal
Plástica	3" a 4"	Trabajable	Vibración Ligera
Fluida	Mayor a 5"	Muy Trabajable	Chuseado

**Nota:** Fuente: Flavio Abanto Castillo, "Tecnología del concreto", Pág. 49

Rivva (2007) "La trabajabilidad es un término relativo, porque un concreto se podrá considerar trabajable bajo ciertas condiciones y no trabajable para otras. Por ejemplo, un concreto podrá ser trabajable para un pavimento, pero será difícil de colocar en un muro delgado con refuerzo complicado. Por ende, la trabajabilidad debería definirse solamente como una propiedad física del concreto fresco, sin hacerse referencia a las circunstancias específicas de un tipo de construcción".

Vásquez (2007) "La inclusión de ceniza volante ayuda a la trabajabilidad de las mezclas de concreto debido a la forma esférica y la suavidad de la superficie de sus partículas, esto ayuda a reducir la fricción entre las partículas y facilita la movilidad".

Rivva (2010) "Las cenizas cambian la capacidad de flujo de la pasta; el perfil generalmente esférico de las partículas de las cenizas normalmente permite que el agua en el concreto pueda ser reducida para una trabajabilidad dada demostrando en informes sobre cenizas de la clase F, las cuales reducen la magnitud de la pérdida del asentamiento cuando se las compara con concreto sin cenizas en climas cálidos".

Abanto (1994) "No existe prueba alguna hasta el momento que permita cuantificar esta propiedad, generalmente se le aprecia en los de consistencia".

Para medir la trabajabilidad de las mezclas se utilizará la prueba de revenimiento, o asentamiento en el cono de Abrahams, siguiendo la norma ASTM C 143.

### 2.2.7.1.1. Ensayo de trabajabilidad

Para realizar esta prueba se utiliza un molde en forma de cono truncado de 30 cm de altura, con un diámetro inferior en su base de 20cm, y en la parte superior un diámetro de 10 cm. Para compactar el concreto se utiliza una barra de acero liso de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud y punta semiesférica, tal como se muestra en la figura:

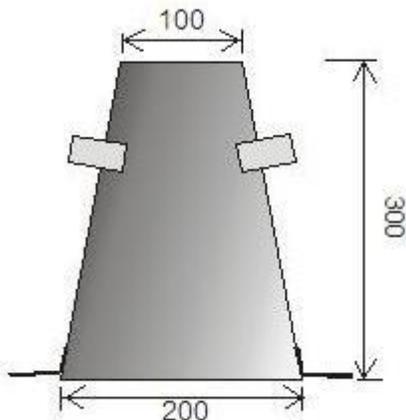
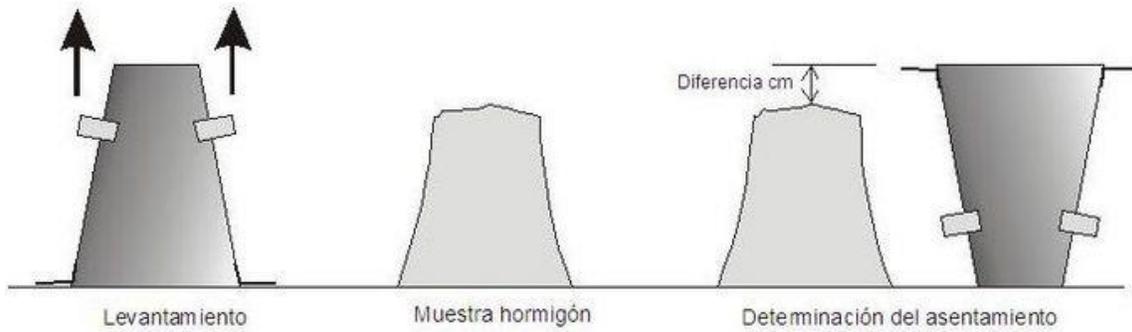


Figura 3. Equipo para la prueba de consistencia.

Fuente: [http://www.construmatica.com/construpedia/AP\\_019.\\_Consistencia\\_del\\_Hormig%C3%B3n\\_M%C3%A9todo\\_del\\_Cono\\_de\\_Abrams.\\_Hormig%C3%B3n\\_Fresco](http://www.construmatica.com/construpedia/AP_019._Consistencia_del_Hormig%C3%B3n_M%C3%A9todo_del_Cono_de_Abrams._Hormig%C3%B3n_Fresco)

#### Procedimiento de ensayo

- El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando las aletas. Seguidamente se vierte una capa de concreto hasta un tercio del volumen. Se apisona con la varilla, aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente.
- Enseguida se colocan otras dos capas con el mismo procedimiento a un tercio del volumen y consolidando, de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior.
- La tercera capa se deberá llenar en exceso, para luego enrasar al término de la consolidación. Lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente en dirección vertical.
- El concreto moldeado fresco se asentará, la diferencia entre la altura del molde y la altura de la mezcla fresca se denomina Slump.
- Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir más de 2 minutos de los cuales el proceso de desmolde no toma más de cinco segundos.



*Figura 4. Prueba de consistencia.*

Fuente: [http://www.construmatica.com/construpedia/AP\\_019.\\_Consistencia\\_del\\_Hormig%C3%B3n\\_M%C3%A9todo\\_del\\_Cono\\_de\\_Abrams.\\_Hormig%C3%B3n\\_Fresco](http://www.construmatica.com/construpedia/AP_019._Consistencia_del_Hormig%C3%B3n_M%C3%A9todo_del_Cono_de_Abrams._Hormig%C3%B3n_Fresco)

## 2.2.8. Concreto en estado endurecido

### 2.2.8.1. Resistencia a la compresión

Abanto (1994) “Se emplea la resistencia a compresión por la facilidad en la realización de los ensayos y el hecho de que la mayoría de propiedades del concreto mejoran incrementándose esta resistencia. La resistencia en compresión del concreto es la carga máxima para una unidad de área por una muestra, antes de fallar por compresión (agrietamiento, rotura)”.

La resistencia a la compresión de la briqueta cilíndrica se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A} \left( \frac{kg}{cm^2} \right); A = \frac{\pi \Phi^2}{4}$$

Donde

$f'c$  : Es la resistencia de rotura a la compresión del concreto.

P: Carga de Rotura (kg)

A: Área de la muestra ( $cm^2$ )

$\Phi$ =Diámetro de la briqueta cilíndrica (cm)

Los moldes para realizar estas briquetas de concreto deben ser de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. Los moldes normalizados se construyen de acero. Eventualmente se utilizan de material plástico duro, de hojalata y de cartón parafinado.

### 2.2.8.2. Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto

Para obtener un concreto de buena calidad, después del mezclado le sigue un curado' adecuado durante las primeras etapas de su endurecimiento,

(Harmsen, 1995) “En la siguiente tabla se muestra la relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad y su resistencia a los 28 días:”

Tabla 9

*Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días.*

Tiempo	7 días	14 días	28 días	90 días	6 meses	1 año	2 años	5 años
$f_c(t)/f_c28$	0.67	0.86	1	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35

**Nota:** Fuente: Harmsen 1995

### 2.2.8.3. Resistencia a la compresión del concreto con ceniza volante

Se ha reconocido experimentalmente que las cenizas volantes pueden afectar la resistencia del concreto de las siguientes maneras:

- a) Por reacción puzolánica.
- b) Por reducción de agua en la mezcla del concreto, manteniendo una manejabilidad constante.
- c) Por aumento del volumen de pasta en la mezcla

Estos y otros efectos adicionales demuestran que la adición de cenizas complica aún más la naturaleza compleja del concreto.

Giraldo (1987) “El efecto de las cenizas volantes puede variar con la edad del concreto. A edades tempranas la resistencia se reduce, pero a edades de 90 días, o más la resistencia aumenta notablemente”.

## **2.2.9. Tratamiento estadístico**

### **2.2.9.1. Prueba de hipótesis**

Tenemos que empezar por definir que es una hipótesis y que es prueba de hipótesis. Hipótesis es una aseveración de una población elaborado con el propósito de poner a prueba, para verificar si la afirmación es razonable se usan datos. En el análisis estadístico se hace una aseveración, es decir, se plantea una hipótesis, después se hacen las pruebas para verificar la aseveración o para determinar que no es verdadera. Por tanto, la prueba de hipótesis es un procedimiento basado en la evidencia muestral y la teoría de probabilidad; se emplea para determinar si la hipótesis es una afirmación razonable.

Cruz (2011) “Prueba de una hipótesis: se realiza mediante un procedimiento sistemático de cinco pasos:”

- Paso N° 01: Plantear la hipótesis nula e hipótesis alternativa.
- Paso N° 02: Seleccionar el nivel de significancia.
- Paso N° 03: Identificar o seleccionar el estadístico de prueba.
- Paso N° 04: Formular la regla de decisión.
- Paso N° 05 Tomar una decisión (no se rechaza  $H_0$ , o se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ )

El desarrollo de estos pasos se verá más adelante.

### **2.2.9.2. Selección del test**

Para seleccionar el test apropiado para analizar nuestros datos, una vez realizado el muestreo se construye un diagrama de frecuencias (o se realiza un test estadístico si se dispone de software apropiado) para comprobar la normalidad de la variable cuantitativa en cada uno de los dos grupos.

“Asimismo, se realiza el test de la F de Fisher para comprobar la homogeneidad de las varianzas entre los dos grupos (Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología, 2005).”

### 2.2.9.3. Comprobación de la normalidad de la variable

Existen dos medidas importantes en la estadística, el sesgo mide como se distribuyen los datos en torno de la media aritmética y la curtosis mide el grado de apuntalamiento de los datos.

Estas medidas son importantes para determinar si la distribución de frecuencias se aproxima a la distribución normal, la cual es la base de la inferencia estadística.

Entonces debemos calcular el sesgo y curtosis de una distribución de frecuencias, para determinar si el grupo de datos se aproxima a la Distribución Normal.

Coefficiente de sesgo o asimetría:

$$g_1 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^3 f_i}{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 f_i \right]^{3/2}}$$

Coefficiente de curtosis:

$$g_2 = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^4 f_i}{\left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 f_i \right]^2} - 3$$

Se considera que una distribución de frecuencias se aproxima a la distribución normal si:

$$|g_1| \leq 0.5 \text{ y } |g_2| \leq 0.5 \text{ (Achoy Bustamante, 2012)}$$

#### 2.2.9.3.1. Distribución de frecuencias

Achoy (2012) “Para la elaboración de una distribución de frecuencias con los datos de una muestra, se realiza con los siguientes pasos:”

- 1) Cálculo la amplitud o rango de los datos  $R = X_{\text{mayor}} - X_{\text{menor}}$
- 2) Número de clases. Usamos la fórmula de Sturges  $K = 1 + 3.322 \log(n)$
- 3) Tamaño de clase:  $C = \frac{R}{K} = \frac{10.73}{4} = 2.68$ ,  $C \approx 3$
- 4) Intervalos de clase:  $\Delta$

Deben cumplir la condición de que el primer intervalo debe contener al primer elemento y el último al elemento mayor.

Las marcas de clase que se obtienen como el valor medio de cada clase:  $x_i = \frac{L_i + L_s}{2}$

La media aritmética:  $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^4 (x_i * f_i)}{n}$

La varianza:  $\hat{S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{X})^2 * f_i}{n-1}$

La desviación estándar:  $\hat{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{X})^2 * f_i}{n-1}}$

El Coeficiente de Variación:  $CV = \frac{\hat{S}}{\bar{X}} * 100 \%$

La aplicación de todo lo anterior indicado se observa en los anexos.

El coeficiente de variación, es una medida de dispersión relativamente adimensional que sirve para determinar el grado de homogeneidad o heterogeneidad de un grupo o serie estadística que se analiza, generalmente su valor es en términos porcentuales y es de gran utilidad sobre todo cuando se comparan distribuciones.

Para poder determinar un grado de control en los datos obtenidos. Se recurre al empleo de valores de dispersión en pruebas de concreto, establecidas en la tabla 10.

Tabla 10  
*Valores de Dispersión en el control de concreto.*

Clase de operación	Coeficiente de variación para diferentes Grados de control (%)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Suficiente	Deficiente
Concreto en obra	< a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	5.0 a 6.0	> a 6.0
Concreto en laboratorio	< a 2.0	2.0 a 3.0	3.0 a 4.0	4.0 a 5.0	> a 5.0

**Nota:** Fuente: Enrique Pasquel Carvajal. “Tópicos de Tecnología del Concreto”

### 2.2.10. Cálculo del estadístico F

Sirve para comparar la homogeneidad las varianzas de dos o más poblaciones. La comparación de varianzas para dos poblaciones, cuyas hipótesis serán de la siguiente manera:

$$H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2 \quad \text{vs} \quad H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$$

Las hipótesis Nula y Alternativa son:

$H_0$ : Todas las proporciones de la población son iguales.

$H_1$ : No todas las proporciones de la población son iguales.

Es intuitivo que el test se va a basar en comparar las varianzas muestrales  $S_1^2$  con  $S_2^2$ . El test no se basa en las diferencia entre estas varianzas sino en un cociente.

$$F_{cal} = \frac{S_1^2}{S_2^2}$$

Si  $H_0$  es cierta,  $F_{cal}$  tiene Distribución F de Fisher, con  $n_1-1$  grados de libertad en el numerador y  $n_2-1$  grados de libertad en el denominador ( $n_1$  tamaño de la muestra de varianza mayor, similar manera poner en el numerador el  $S^2$  más grande)

El valor estadístico de prueba resultante se debe comparar con un valor tabular de F ( $F_{tabla}$ ), que indicará el valor máximo del valor estadístico de prueba que ocurría si  $H_0$  fuera verdadera, a un nivel de significación seleccionado. Antes de proceder a efectuar este cálculo, se debe considerar las características de la distribución F.

Si  $F_{cal} < F_{tabla}$ , No se rechaza la  $H_0$ , es decir, se concluye que las varianzas son iguales.

$F_{tabla} = F_{n_1-1, n_2-1, \alpha}$  El cual busca en las tablas de Distribución F de Fisher (ver anexos).  
Suárez I (2012)

La aplicación de este método se observa en los anexos.

### 2.2.11. Distribución t de Student

Se utiliza para detectar la existencia de diferencias significativas entre las medias de una determinada variable cuantitativa en dos grupos de datos.

#### Requisitos

- ❖ Datos distribuidos según una distribución normal en cada grupo
- ❖ Las varianzas de las dos muestras han de ser iguales
- ❖ Muestras independientes y menores a 30

Las hipótesis pueden ser de:

#### a) Hipótesis de dos colas

La hipótesis establece que existen diferencias entre las medias de los dos grupos considerados, sin presuponer cuál de las dos medias es mayor que la otra. La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre dichas medias.

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} \neq \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} = \mu_{\bar{x}_C}$$

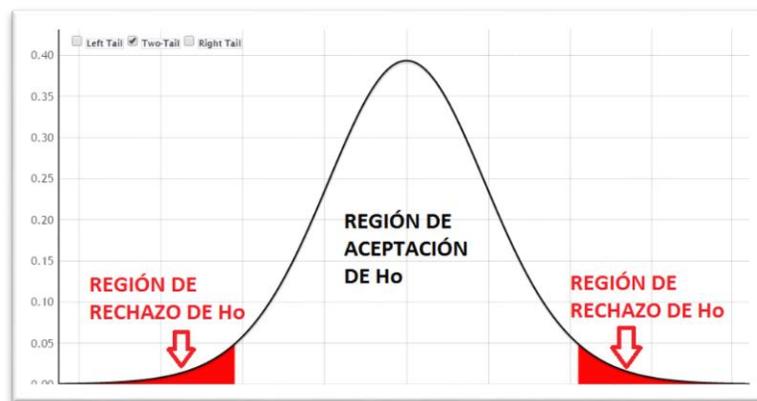


Figura 5. Curva de distribución para hipótesis de dos colas  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} \neq \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} = \mu_{\bar{x}_C}$   
Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

## b) Hipótesis de una cola

La hipótesis establece que existen diferencias entre las medias de los grupos considerados, presuponiendo que una de las dos medias es mayor que la otra. La hipótesis nula establece que no existen diferencias entre dichas medias, o que las diferencias van en sentido contrario a como han sido expresadas en la hipótesis.

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C} \quad \text{o} \quad H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} < \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \geq \mu_{\bar{x}_C}$$

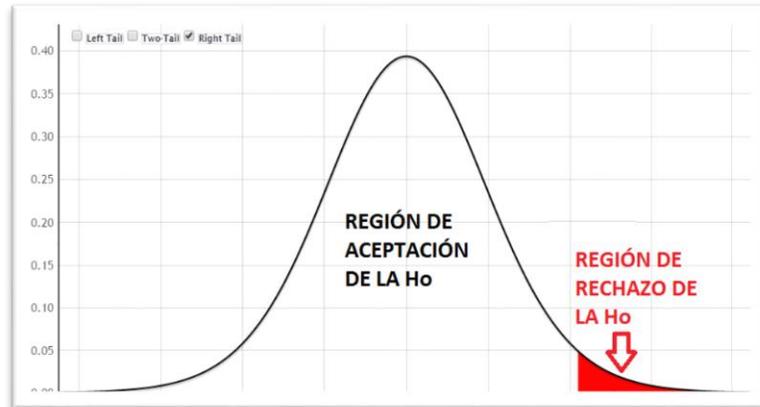


Figura 6. Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la derecha  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

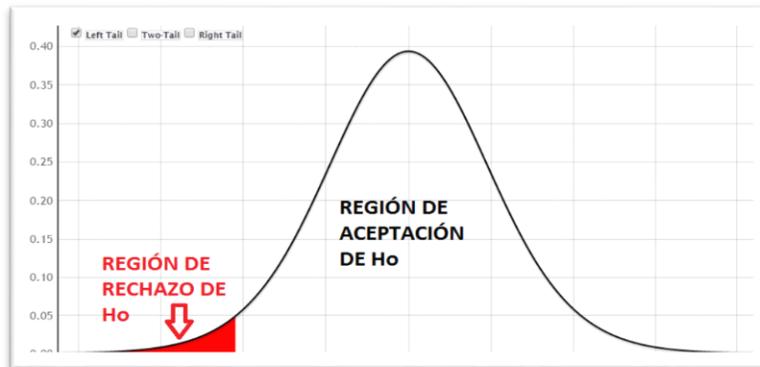


Figura 7. Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la Izquierda  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} < \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \geq \mu_{\bar{x}_C}$

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

### Procedimiento de cálculo

El estadístico de prueba para una distribución t-student con  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad es el siguiente:

$$t_p = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}; S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Donde

$n_1$  y  $n_2$  : Tamaños de las muestras 1 y 2 respectivamente

$\bar{X}_1$  y  $\bar{X}_2$  : Medias de las muestras 1 y 2 respectivamente

$S_1^2$  y  $S_2^2$  : Varianzas de las muestras 1 y 2 respectivamente

Según la Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología, (2005), a “continuación se mide la significación del estadístico  $t_p$ , comparando ese valor con el valor de un estadístico  $t_{tabla}$  que se obtiene mirando las tablas correspondientes (ver anexos). Para identificar el  $t_{tabla}$  que nos corresponde hemos de fijarnos en el número de colas que tiene nuestra hipótesis (una cola o dos colas), en el nivel de significación ( $\alpha$ ) con el que pretendemos rechazar la hipótesis nula; y en los grados de libertad del test ( $n_1 + n_2 - 2$ )”.

- Si  $t_p \geq t_{tabla} \Rightarrow$  se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$  (las medias son diferentes)

- Si  $t_p < t_{tabla} \Rightarrow$  se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$  (las medias son iguales)

## Capítulo III: Materiales y Métodos

### 3.1. Diseño de investigación

#### 3.1.1. Tipo de investigación

La presente investigación será del tipo: correlacional - explicativo según Roberto Hernández Sampieri (2006); "La investigación correlacional asocia variables mediante un patrón predecible para un grupo o población"; puesto que tiene como propósito relacionar y vincular entre si el comportamiento mecánico del concreto a compresión con la inclusión de un porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland IP.

#### 3.1.2. Nivel de investigación

El nivel de esta investigación es explicativo según Roberto Hernández Sampieri (2006); "La investigación explicativa pretende establecer las causas de los eventos, sucesos o fenómenos que se estudian"; ya que se centra en determinar las causas que originan la variación de resultados al manipular la variable independiente.

#### 3.1.3. Método de investigación

El método de investigación es cuantitativo, ya que el enfoque cuantitativo usa la relación de datos para probar la hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

#### 3.1.4. Muestra de estudio

- El diseño de mezclas fue para un concreto de resistencia a la compresión de  $f_c=210$  kg/cm<sup>2</sup>.
- En la dosificación del concreto la cantidad de agua de diseño fue la misma para cada tipo de concreto.
- Se utilizó una misma relación agua/cemento o agua/(cemento + ceniza volante) ( $\frac{a}{c} = \frac{a}{c+cv}$ ) para todos los concretos con diferentes porcentajes de ceniza volante.
- Las muestras de concreto fueron briquetas cilíndricas con dimensiones: 6" (150 mm) de diámetro y 12" (300 mm) de alto.
- La cantidad total de briquetas ensayadas fue de acuerdo a la tabla 11.

Tabla 11  
*Numero de muestras a realizarse*

<b>Muestras de Concreto</b>		<b>Pruebas a Compresión</b>		
<b>Ceniza Volante</b>	<b>Cemento Portland</b>	<b>Ensayos a 7 días.</b>	<b>Ensayos a 14 días.</b>	<b>Ensayos a 28 días.</b>
0%	100%	12	12	12
5%	95%	12	12	12
10%	90%	12	12	12
15%	85%	12	12	12
20%	80%	12	12	12
25%	75%	12	12	12
<b>TOTAL DE MUESTRAS</b>				<b>216</b>

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

### **3.2. Formulación de hipótesis**

#### **3.2.1. Hipótesis general**

La inclusión de ceniza volante como sustituto parcial en un porcentaje del cemento portland IP mejora las características del concreto con agregados de la cantera surupana.

#### **3.2.2. Hipótesis específicas**

Las propiedades fisicoquímicas de la ceniza volante de la central termoeléctrica Ilo21 están acordes a las recomendaciones y normas para elaborar concretos con agregados de la cantera surupana.

La adición de un porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana, mejora la trabajabilidad del concreto fresco en el proceso de mezclado.

La adición parcial de ceniza volante como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana mejora la resistencia del concreto a una compresión de 210 kg/cm<sup>2</sup> a edades de 7, 14 y 28 días.

El costo del concreto elaborado con un porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana es más económico que el concreto convencional.

### 3.3. Variables a observar en el desarrollo experimental

La variable a estudiar será el porcentaje de ceniza volante adicionada al concreto, su incidencia en la resistencia a la compresión del concreto endurecido, su consistencia en el estado fresco y su costo por metro cúbico de material.

Tabla 12  
Matriz de consistencia.

	<b>Definición del Problema</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Factor a medir</b>
<b>General</b>	¿Cómo influye el porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana en las características mecánicas del concreto?	La inclusión de cenizas volantes como sustituto en un porcentaje del cemento portland IP mejora las características del concreto con agregados de la cantera surupana.	<b>Independiente</b> Dosificación de los materiales con cenizas volantes.	Dosificación de cenizas volantes.	Porcentaje de ceniza volante a emplear (5, 10, 15, 20 y 25) del peso del cemento.
			<b>Dependiente</b> Comportamiento mecánico del concreto	Características mecánicas del concreto, normal y concreto con cenizas volantes.	Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días.
<b>Específico 01</b>	¿Cómo son las propiedades fisicoquímicas de la ceniza volante de la central Termoeléctrica ILO21?	Las propiedades fisicoquímicas de la ceniza volante de la central Termoeléctrica ILO21 están acordes a las recomendaciones y normas para elaborar concretos con agregados de la cantera surupana.	<b>Independiente</b> Ceniza volante.	Ceniza Volante.	Composición de la ceniza volante.
			<b>Dependiente</b> Propiedades fisicoquímicas de la ceniza volante.	Propiedades fisicoquímicas de la ceniza volante. (ASTM C618-03)	Componentes químicos y características físicas de la ceniza volante.

	<b>Definición del Problema</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variables</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Factor a medir</b>
<b>Específico 02</b>	¿Cómo influye el porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana en la trabajabilidad del concreto fresco?	La adición de un porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana mejora la trabajabilidad del concreto fresco en el proceso de mezclado.	<b>Independiente</b> Ceniza volante.  <b>Dependiente</b> Trabajabilidad.	Dosificación de cenizas volantes.  Ensayo de consistencia del concreto (ASTM C143) Concreto normal y concreto con ceniza volante.	Porcentaje de ceniza volante a emplear (5, 10, 15, 20 y 25) del peso del cemento.  Consistencia del concreto, asentamiento del cono de Abrams.
<b>Específico 03</b>	¿Cómo influye el porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana en las características mecánicas del concreto?	La adición de un porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana mejora la resistencia del concreto a compresión de 210 kg/cm <sup>2</sup> a edades superiores a los 28 días.	<b>Independiente</b> Ceniza volante.  <b>Dependiente</b> Resistencia del concreto a compresión.	Dosificación de cenizas volantes.  Ensayo de compresión del concreto (ASTM C39), concreto normal y concreto con ceniza volante.	Porcentaje de ceniza volante a emplear (5, 10, 15, 20 y 25) del peso del cemento.  Resistencia a la compresión a los 7,14 y 28 días.

<b>Específico 04</b>	¿Cómo varia el costo de producción del concreto elaborado con un porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana frente a un concreto convencional?	El costo del concreto elaborado con un porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana es más económico que el concreto convencional.	<b>Independiente</b>	Dosificación del concreto patrón y concreto con ceniza volante.	Porcentaje de ceniza volante a emplear (5, 10, 15, 20 y 25) del peso del cemento.
			<b>Dependiente</b>		

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

### **3.4. Procedencia y ensayos de los materiales a utilizar en la investigación**

#### **3.4.1. Agregados**

##### **3.4.1.1. Cantera**

El agregado grueso usado para la elaboración del concreto en la investigación fue obtenida de la cantera surupana, ubicada en el kilómetro 25 de la carretera hacia Arequipa de la ciudad de Juliaca. Previo al transporte del material se vio la cantera, ya que esta tenía unas fajas en la cual separaba el material en 3/4", 1/2" y 3/8"; el material ya se encontraba seleccionado es por ello que se comenzó a cargar el material que se adquirió.

Por otro lado el agregado fino fue extraído de la cantera del río maravillas, ubicado a 5 kilómetros de la carretera hacia la ciudad de Lampa, este material es de canto rodado es por ello que se extrajo y se llevó al laboratorio para poder realizar el análisis físico.

El material obtenido en la cantera surupana fue transportado a las instalaciones de nuestra Universidad Peruana Unión Filial Juliaca.

#### **3.4.1.1.1. Agregado fino**

Para la presente investigación, se utilizó el tamiz 3/8" para separar el agregado grueso del fino, el agregado fino fue de la cantera del río maravillas, el tamizado se realizó de la siguiente manera:

Se separó el material con una malla cuadrada de alambre electro soldada de 3/8", todo lo pasante a la malla es el agregado fino.

#### **Granulometría**

El tamizado en el laboratorio se realizó siguiendo este procedimiento:

- a) Tomar una muestra por cuarteo no menor a 500 gr (para el agregado fino), secarlo hasta tener un peso constante, luego dejar enfriar.
- b) Limpiar los tamices y verificar el orden de colocación de estas en orden decreciente según el tamaño de la abertura: 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N° 100 y N°200.
- c) Se procede a colocar la muestra del agregado en la malla superior, y se realiza movimientos circulares haciendo que el material descienda por las mallas, no se debe forzar con la mano el paso de una partícula a través de los tamices.
- d) Se da por finalizada la operación de tamizado, cuando en el transcurso de un minuto no pase más del 1% en peso del material sobre el tamiz.
- e) Retirar malla por malla y pesar el material retenido en cada una de ellas y anotar los resultados.
- f) Luego realizar los cálculos, como los que se muestran en los cuadros siguientes, así mismo para su mejor interpretación y verificación de los (husos) establecidos.

El máximo error respecto del peso total inicial con el peso obtenido en la sumatoria de los pesos retenidos será de  $\pm 1\%$ .

Los resultados del análisis granulométrico se muestran en los anexos, donde se puede observar que la granulometría del agregado fino están dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037, como se observa en la siguiente figura.

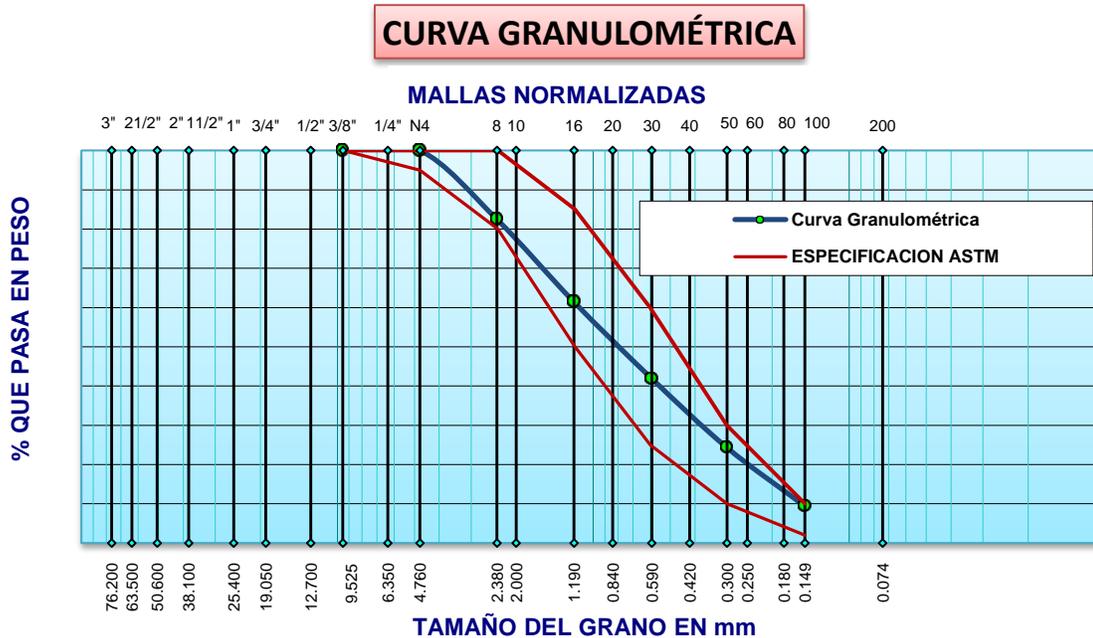


Figura 8. Curva granulométrica del agregado fino.  
 Fuente: Elaboración propia.

**Módulo de fineza (NTP 400.011)**

El módulo de finura se obtuvo de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acum. Ret. (3" + 1 1/2" + 3/4" + 1/2" + 3/8" + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100}$$

De donde el módulo de fineza del agregado fino ensayado es de: 2,81.

**Contenido de humedad (NTP 400.016)**

Para hallar el contenido de humedad del agregado fino, la siguiente ecuación se aplicó:

$$CH = \frac{(\text{Peso Humedo} - \text{Peso Seco})}{\text{Peso Seco}} \times 100$$

- a) Tomamos 400 gr aproximadamente de agregado fino natural.
- b) Secamos las muestras en el horno.
- c) Pesamos la cantidad de muestra seca en el horno.
- d) Realizamos los cálculos de acuerdo a la anterior ecuación

Calla (2013), el contenido de humedad de un agregado varía de acuerdo al medio ambiente por ello es necesario hallar el contenido de humedad cada vez que se haga un diseño”.

Tabla 13  
*Cálculo del contenido de humedad del agregado fino.*

<b>Numero de tara</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso de tara	27.72 gr	27.65 gr	31.09 gr
Peso de tara + muestra humeda	366.05 gr	321.74 gr	411.20 gr
Peso de tara + muestra seca	352.27 gr	308.41 gr	396.51 gr
Peso de agua	13.78 gr	13.33 gr	14.69 gr
Peso de muestra seca	324.55 gr	280.76 gr	365.42 gr
Contenido de humedad W%	4.25%	4.75%	4.02%
Contenido de humedad W% Promedio	4.34%		

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

### **Peso específico y absorción (NTP 400.022)**

Se siguió el presente procedimiento:

- a) Pesar la muestra aproximadamente 3 kg.
- b) Saturar por 24 horas el material.
- c) Al día siguiente escurrir el agua y esparcir sobre una bandeja para que seque superficialmente al medio ambiente.
- d) Para comprobar si la muestra esta superficialmente seca (SSS), echar en el cono de absorción, apisonando con 25 golpes sin compactar el material, si al levantar el molde la muestra queda exacta al molde, entonces aún falta secar superficialmente, si queda desmoronado parcialmente y de punta, significa que la muestra esta superficialmente seca (SSS).
- e) Pesar 500 gr de la muestra superficialmente seco (SSS) e introducir la muestra en el frasco de vidrio.
- f) Luego de poner la muestra en el frasco también lo llenamos con agua hasta un nivel que nos permita agitar el frasco sin rociar agua.
- g) Agitamos el frasco por un periodo de 15 a 20 minutos, con el fin de eliminar las burbujas.

- h) Colocamos el frasco con la muestra, sobre una cocinilla eléctrica, dentro de un depósito con agua para eliminar los vacíos (aire), sacarlo luego de verificar de que no exista aire dentro de la muestra cuando lo agitamos.
- i) Dejamos a temperatura del ambiente para que enfrié el frasco con la muestra dentro del mismo.
- j) Pesamos el frasco + muestra + agua
- k) Sacamos el agregado fino del frasco, para secarlo sobre la cocinilla eléctrica a temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , verificamos que después de varias pesadas el material pese lo mismo, entonces anotamos el peso del material seco.
- l) Llenamos el frasco hasta su máxima capacidad con agua, esta última a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ , luego lo pesamos.
- m) Finalmente pesamos el frasco vacío.

Peso específico de masa

$$P.E.M. = \frac{\text{Peso de la arena seca en horno}}{\text{Volumen del fiola} - \text{Volumen del agua en la fiola}}$$

Peso específico de masa saturada superficialmente seca

$$P.E.M. sss = \frac{500}{\text{Volumen del fiola} - \text{Volumen del agua en la fiola}}$$

Peso específico aparente

$$P.E.A. = \frac{\text{Peso arena seca}}{(\text{Vol. fiola} - \text{Vol. agua en la fiola}) - (500 - \text{Peso arena seca})}$$

Absorción

$$\%Abs = \frac{500 - \text{Peso arena seca}}{\text{Peso arena seca}} \times 100$$

Tabla 14  
*Datos calculados.*

<b>Agregado fino</b>	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca.	450.00 gr
Peso de fiola.	165.00 gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca + peso de fiola + peso de agua.	929.00 gr
Peso de agua.	314.00 gr
Peso de muestra seca.	480.50 gr
Volumen de la fiola.	500.00 cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa.	2.58 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa saturada superficialmente seca.	2.69 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente.	2.89 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción.	4.06%

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

### **Peso unitario (NTP 400.017)**

Se procedió a realizar los cálculos de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del material}}; \text{Peso Unitario Suelto}$$

$$P.U.C = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del material compactado}}; \text{Peso Unitario Compactado}$$

Se siguió el presente procedimiento:

- a) Alistar un recipiente seco, limpio, de peso y capacidad conocidos.
- b) Para el Peso Unitario Suelto, llenar el recipiente con el agregado, enrasar y pesar.
- c) Para el Peso Unitario Compactado, llenar el recipiente con el agregado en tres capas aplicando 25 golpes por cada capa con una varilla de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud con punta redondeada, enrasar y pesar.

Tabla 15  
*Datos calculados del peso unitario suelto del agregado fino.*

<b>Fino suelto</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso del molde	7.07 gr	7.07 gr	7.07 gr
Volumen del molde	0.0053 cm <sup>3</sup>	0.0053 cm <sup>3</sup>	0.0053 cm <sup>3</sup>
Peso del molde + muestra	16.21 gr	16.11 gr	16.09 gr
Peso de la muestra	9.14 gr	9.04 gr	9.02 gr
Peso unitario suelto	1723 Kg/m <sup>3</sup>	1704 Kg/m <sup>3</sup>	1701 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario suelto promedio		1710 Kg/m <sup>3</sup>	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16  
*Datos calculados del peso unitario compactado del agregado fino.*

<b>Fino compactado</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso del molde	7.07 gr	7.07 gr	7.07 gr
Volumen del molde	0.0053 cm <sup>3</sup>	0.0053 cm <sup>3</sup>	0.0053 cm <sup>3</sup>
Peso del molde + muestra	16.71 gr	16.67 gr	16.75 gr
Peso de la muestra	9.64 gr	9.60 gr	9.68 gr
Peso unitario compactado	1818 Kg/m <sup>3</sup>	1811 Kg/m <sup>3</sup>	1825 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado promedio		1818 Kg/m <sup>3</sup>	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.1.1.2. Agregado grueso

#### **Granulometría**

#### **Tamaño máximo nominal**

“De acuerdo a lo explicado en la parte teórica, tomaremos el criterio establecido de la NTP 400.037 siendo este un criterio más utilizado en nuestro medio, respecto al resultado del análisis granulométrico del agregado grueso se observa que el tamaño máximo es de 1" y el tamaño máximo nominal es de 3/4".

El procedimiento recomendado es el siguiente:

- a) Tomamos una muestra representativa por cuarteo la cantidad de 5 Kg.
- b) Limpiar los tamices y verificar el orden de colocación de estas en orden decreciente.
- c) Colocamos varios recipientes cerca al lugar donde se hará el ensayo, esto para colocar el material acumulado en cada tamiz.

- d) Se procede a colocar la muestra de agregado en la malla superior, y se imprime movimientos a la muestra (adelante, atrás, izquierda, derecha y circular) no se debe forzar con la mano el paso de una partícula a través de los tamices.
- e) Cuando ya se encuentre lleno de muestras los tamices, colocamos las muestras retenidas de cada tamiz en los recipientes.
- f) Se da por finalizada la operación de tamizado, cuando en el transcurso de un minuto no pase más del 1 % en peso del material sobre el tamiz.
- g) Retirar malla por malla y pesar el material retenido en cada una de ellas y anotar los resultados.
- h) Después de culminar el tamizado del material se procede a pesar cada retenido, para su cálculo respectivo.

El máximo error respecto del peso total inicial con el peso obtenido en la sumatoria de los pesos retenidos será de  $\pm 1\%$ . Los resultados del análisis granulométrico se muestran en los anexos, donde se puede observar que la granulometría del agregado grueso están dentro de los límites establecidos (Huso 057) por la norma NTP 400.037, como se observa en la siguiente figura.

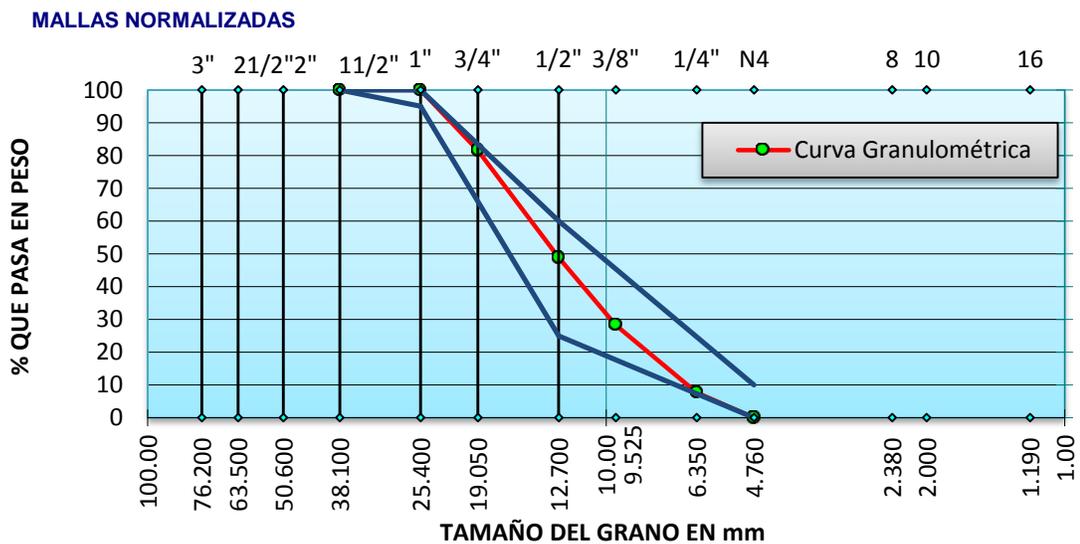


Figura 9. Curva granulométrica del agregado grueso.  
Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el agregado grueso como el que se analizó en laboratorio sobre todo en el ensayo de granulometría, y obtener resultados más uniformes, se tamizó todo el agregado retenido en la malla N°4, para así tener obtener agregados separados por tamaño, para ello se utilizó los tamices de 1", 3/4", 1/2" y 3/8", el material retenido en el tamiz 1" no se consideró en el diseño de mezclas ya que nuestro tamaño máximo nominal es de 3/4".

#### **Módulo de fineza (NTP 400.011)**

El módulo de fineza del agregado grueso, es menos usado que el de la arena, para su cálculo se usa el mismo criterio que para la arena, o sea se suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 dividida entre 100.

El módulo de fineza del agregado grueso ensayado es: 6.41

#### **Contenido de humedad (NTP 400.016)**

El procedimiento para el cálculo del contenido de humedad es similar al realizado para el agregado fino.

Tabla 17

*Datos calculados de contenido de humedad agregado fino.*

<b>Numero de tara</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso de tara	31.09 gr	27.62 gr	29.81 gr
Peso de tara + muestra humeda	410.54 gr	407.32 gr	409.65 gr
Peso de tara + muestra seca	405.42 gr	402.03 gr	404.69 gr
Peso de agua	5.12 gr	5.29 gr	4.96 gr
Peso de muestra seca	374.33 gr	374.41 gr	374.88 gr
Contenido de humedad W%	1.37%	1.41%	1.32%
Contenido de humedad W% Promedio		1.37%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

#### **Peso específico y absorción (NTP 400.021)**

Para determinar el peso específico se determinó de acuerdo a las siguientes formulas:

$$P.E.M. = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso de la muestra sss} - \text{Peso de la muestra sumerg. en agua}}$$

$$P.E.Msss. = \frac{\text{Peso de la muestra sss}}{\text{Peso de la muestra sss} - \text{Peso de la muestra sumerg. en agua}}$$

$$P.E.A. = \frac{\text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso seco de la muestra} - \text{Peso de la muestra sumerg. en agua}}$$

$$\%Abs = \frac{\text{Peso de la muestra sss} - \text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100$$

Para ello se siguió el siguiente procedimiento:

- a) Seleccionar aproximadamente 5 kg de muestra, por el método de cuarteo.
- b) Lavar la muestra seleccionada, eliminando el polvo o material adherido y se sumerge en agua durante 24 horas.
- c) Al día siguiente escurrir el agua y esparcir el material sobre la franela y con la misma secarla a fin de tenerlo en condición saturada superficialmente seco.
- d) Calibramos la balanza con la canastilla dentro del agua.
- e) Luego colocar el material dentro de la canastilla sumergida y pesar.
- f) Colocar el material ya pesado en un recipiente y llevarlo al homo por 24 horas a temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- g) Obtenemos el peso de la muestra seca al homo.
- h) Finalmente realizamos los cálculos.

Tabla 18  
*Datos calculados de peso específico y absorción del agregado fino.*

<b>Agregado grueso</b>	
Peso de la muestra sss	1250.00 gr
Peso de muestra sss+ canastilla + agua (sumergido)	798.00 gr
Peso de muestra saturada superficialmente seca - peso de muestra bajo agua	452.00 gr
Peso muestra seca	1208.30 gr
Volumen de la masa	410.30 cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa sss	2.77 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.94 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	3.45%

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

### **Peso unitario (NTP 400.017)**

El peso unitario suelto o compactado para el agregado grueso el procedimiento es el mismo obtenido para el agregado fino, donde:

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del material}}; \text{Peso Unitario Suelto}$$

$$P.U.C = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del material compactado}}; \text{Peso Unitario Compactado}$$

Para ello se siguió el siguiente procedimiento:

- a) Alistar un recipiente seco, limpio, de peso y capacidad conocidos.
- b) Para el peso unitario suelto, llenar el recipiente con el agregado, enrasar y pesar.
- c) Para el peso unitario compactado, llenar el recipiente con el agregado en tres capas aplicando 25 golpes por cada capa con una varilla de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud con punta redondeada, enrasar y pesar.

Tabla 19

*Datos calculados del peso unitario suelto del agregado grueso.*

<b>Grueso suelto</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso del molde	7.07 gr	7.07 gr	7.07 gr
Volumen del molde	0.0053 cm <sup>3</sup>	0.0053 cm <sup>3</sup>	0.0053 cm <sup>3</sup>
Peso del molde + muestra	15.47 gr	15.41 gr	15.34 gr
Peso de la muestra	8.40 gr	8.34 gr	8.27 gr
Peso unitario suelto	1584 Kg/m <sup>3</sup>	1573 Kg/m <sup>3</sup>	1559 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario promedio		1572 Kg/m <sup>3</sup>	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20

*Datos calculados del peso unitario compactado del agregado grueso.*

<b>Grueso compactado</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso del molde	7.07 gr	7.07 gr	7.07 gr
Volumen del molde	0.0053 cm <sup>3</sup>	0.0053 cm <sup>3</sup>	0.0053 cm <sup>3</sup>
Peso del molde + muestra	15.91 gr	15.79 gr	16.08 gr
Peso de la muestra	8.84 gr	8.72 gr	9.01 gr
Peso unitario compactado	1667 Kg/m <sup>3</sup>	1644 Kg/m <sup>3</sup>	1700 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario promedio		1670 Kg/m <sup>3</sup>	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

### 3.4.2. Ceniza volante utilizada

La ceniza volante utilizada es de la central termoeléctrica Ilo21 (C.T. Ilo21) ubicada al sur de la ciudad de Ilo, (21 km del puerto de Ilo). Zona pampa Palo/Palo la Buitrera, con una superficie de terreno de 16 hectáreas.

Es la única central de generación eléctrica a carbón en el Perú. Su construcción se inició en julio de 1998 y entró en operación comercial en agosto del 2000. Posee un generador accionado por una turbina a vapor con una potencia nominal de 135.00 MW.

“Enersur en el 2015, la planta cuenta con una cancha de carbón con capacidad de almacenamiento para 200,000 toneladas y un muelle de 1,250 metros de largo, diseñado para buques de 70.000 toneladas de desplazamiento”.



*Figura 10.* Central termoeléctrica Ilo 21.  
Fuente: Memoria anual 2014 Enersur.

Para conseguir la ceniza volante de la C.T. Ilo21, en primera instancia se hizo coordinaciones en la misma central. Donde según reglamento, toda coordinación para visitar las instalaciones de la C.T. Ilo21 se debe hacer en la oficina principal en la ciudad de Lima, así que la atención por única vez, fue afuera de la central (garita). Se realizó una segunda visita a la C.T. Ilo21 ya habiendo realizado las coordinaciones con los encargados de la C.T. Ilo21. Donde se pudo observar la cantidad de ceniza volante en la cancha de residuos.

Según la información del especialista de la central termoeléctrica Ilo21, existe más de 60,000 toneladas de ceniza volante en la cancha de residuos, y cuando se produce energía a base de carbón sale aproximadamente de 50 a 100 toneladas por día. Además actualmente la única empresa que compra esta ceniza volante es cementos lima.

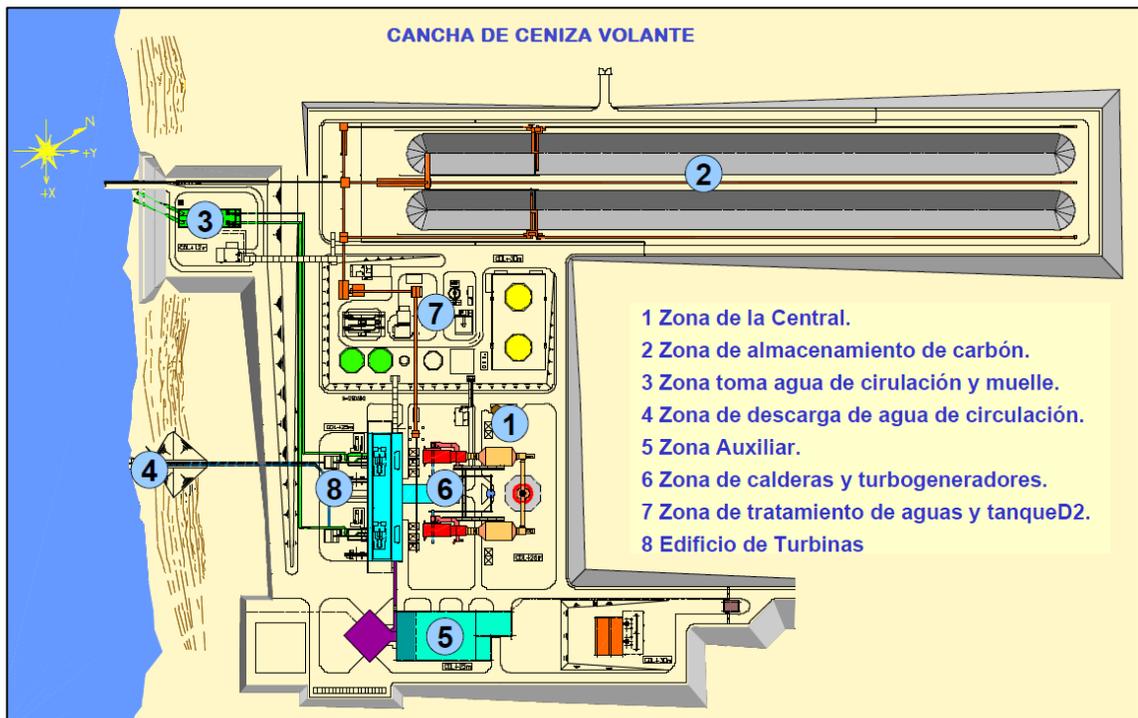


Figura 11. Esquema general de la central termoeléctrica Ilo 21.

Fuente: Quiroz Bazán Ricardo David. (2005) Tesis "Evaluación Energética Y Económica de La Central Térmica A Carbón Ilo21" Pág. 69, Universidad Nacional de Ingeniería-Perú.



Figura 12. Vista satelital de la central termoelectrica Ilo 21.  
Fuente: Google earth.

### 3.4.2.1. Características de la ceniza volante utilizada

El tipo de carbón utilizado para la generación eléctrica en la central termoeléctrica Ilo21 es Bituminoso, por lo cual la Ceniza volante es de Clase F.

El análisis de la composición química de la ceniza volante se realizó en la ciudad de Arequipa, en Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., donde los resultados son:

Tabla 21

*Datos proporcionados por el laboratorio analítico del sur.*

SiO2	CaO	MgO	Al2O3	Fe2O3	Mn2O3	Na2O	K2O	LOI	SO3	SO4	P2O5
50.18%	0.17%	1.37%	15.29%	8.18%	0.17%	8.44%	2.85%	3.91%	0.70%	0.84%	0.19%

**Nota:** Fuente: Certificado proporcionado por el laboratorio analítico del sur.

La norma ASTM C 618 nos indica que:

La suma de los porcentajes de los compuestos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  deben ser como mínimo 70%, de la tabla anterior se observa que la suma de estos elementos es:

$$50.18\% + 15.29\% + 8.18\% = 73.65\%, \text{ si cumple.}$$

El contenido de  $\text{SO}_3$  como máximo debe ser de: 3%, en el análisis no se indica que este porcentaje es 0.70%, lo cual también cumple.

La pérdida de calcinación debe ser como máximo el 6%, para la ceniza volante analizada su pérdida de calcinación LOI es 3.91%, lo cual también cumple.

Para el análisis físico de la ceniza volante, no se encontró laboratorio especializado, ya que no es común la utilización de la ceniza volante en nuestro país. Solo consideraremos el análisis realizado en el laboratorio de Química de la escuela profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del altiplano y también los datos de la ficha del fabricante de esta ceniza (Central Termoeléctrica Ilo21).

Tabla 22  
*Datos proporcionados por el laboratorio de química.*

Densidad relativa	2.5
Contenido de humedad	1.25%
Color aparente	Gris Oscuro

**Nota:** Fuente: Certificado laboratorio de química UNA – Puno.

Tabla 23  
*Datos proporcionados por el laboratorio de química.*

Estado Físico	Sólido polvo
Aspecto	Color gris y negro
Olor	Ninguno
PH en agua	6.0 - 7.5
Solubilidad en agua	Insoluble
Viscosidad	Ninguna

**Nota:** Fuente: Ficha de datos de seguridad de la Central Termoeléctrica Ilo21.

Por todo lo anunciado anteriormente, podemos decir que la ceniza volante cumple con los requisitos químicos recomendados por la norma ASTM 618.

### **3.4.3. Cemento utilizado**

“Aguila P. (2014), a partir del 2013 Yura es la encargada de la producción y comercialización de toda la unidad de negocios de cemento, con lo que produce y distribuye la marca "Rumi" de su subsidiaria Cemento Sur S.A”.

El cemento utilizado es el cemento portland IP de marca Rumi, el cual es el más utilizado en nuestra zona.

Se hizo el análisis del peso específico del cemento utilizado, esto en el laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano, el cual fue de: 2.99

### **3.4.4. Agua**

El agua utilizada en la presente investigación fue tomada directamente desde la red de suministro a la ciudad universitaria, la cual es la misma utilizada para las diferentes construcciones que se vienen ejecutando dentro de la Universidad Peruana Unión.

## **3.5. Preparación del concreto**

Para la preparación del concreto se tuvo en consideración las propiedades físicas de los agregados analizado en el laboratorio, los cuales se mencionan en la tabla 24.

Tabla 24  
*Datos generales calculados y proporcionados.*

Descripción	Unidad	Cemento	Ceniza Volante	Agregados	
				Fino	Grueso
Tamaño máximo nominal	Pulg			N°4	3/4"
Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	2.99	2.5	2.58	2.67
Peso unitario suelto	Kg/m <sup>3</sup>			1710	1572
Peso unitario compactado	Kg/m <sup>3</sup>			1818	1670
Contenido de humedad	%			4.34	1.37
Absorción	%			4.06	3.45
Módulo de fineza				2.81	6.41

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

### 3.5.1. Método de diseño del ACI

“El comité 211 del ACI ha desarrollado un procedimiento de diseño de mezclas, basándose en algunas Tablas, este método permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto”.

La estimación de las cantidades de materiales requeridas para preparar una unidad cúbica de concreto implica una secuencia cuyo cumplimiento permite, en función de las características de los materiales, preparar la mezcla adecuada para el trabajo que se va a efectuar.

Rivva (2007), el procedimiento para la selección de las proporciones que se presenta en este método es aplicable a concreto de peso normal”.

### 3.5.2. Diseño del concreto patrón

El Diseño de Mezclas de concreto fue realizado según las recomendaciones del comité 211 del ACI, lo cual se muestra en el siguiente procedimiento:

#### **Selección de la resistencia promedio**

Como no contamos con un registro de resultados de ensayos que nos posibilite el cálculo de desviación estándar, entonces la resistencia promedio requerida deberá ser determinada empleando los valores de la tabla.

Tabla 25  
Resistencia la compresión promedio.

<b>f'c (Kg/cm2)</b>	<b>f'cr (kg/cm2)</b>
Menos de 210	f'c + 70
210 a 350	<b>f'c + 84</b>
sobre 350	f'c + 98

**Nota:** Fuente: Enrique Rivva López “Diseño de Mezclas”

El f'cr requerido es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo utilizando la tabla 25 es:

$$f'cr=210+84=294 \text{ kg/cm}^2.$$

### Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado

Tamaño Máximo Nominal: 3/4"

### Selección del Asentamiento

Slump: 3" a 4" (Mezcla plástica)

### Selección de volumen unitario de agua de diseño

Entrando en la tabla 26 se determina el volumen unitario de agua, o agua de diseño, necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4", en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 3/4".

Tabla 26  
Volumen unitario de agua.

Asentamiento	Agua, en l/tm <sup>3</sup> , para los Tamaño Máximo Nominales de agregado grueso y consistencia indicados								Condición TMN
	3/8	1/2	3/4	1	1 1/2	2	3	6	
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113	Concreto sin aire
3" a 4"	228	216	<b>205</b>	195	181	169	145	124	
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	....	Incorporado
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	17	Concreto con aire
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119	
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	....	Incorporado

**Nota:** Fuente: Enrique Rivva López “Diseño de Mezclas”

Para nuestro diseño el agua seleccionada es de 205 litros por metro cúbico.

### Selección del contenido de aire

Tabla 27  
*Contenido de aire atrapado.*

<b>Contenido de aire atrapado</b>	
Tamaño Máximo Nominal	Aire Atrapado
3/8 "	3.00%
1/2 "	2.50%
<b>3/4 "</b>	<b>2.00%</b>
1 "	1.50%
1 1/2 "	1.00%
2 "	0.50%
3 "	0.30%
6 "	0.20%

**Nota:** Fuente: Enrique Rivva López “Diseño de Mezclas”

El contenido de aire atrapado para un agregado grueso de TMN de 3/4" es de 2.0%.

### Selección de la relación agua-cemento

Tabla 28  
*Relación agua – cemento por resistencia.*

<b>f'cr (28 días)</b>	<b>Relación agua- cemento de diseño de peso</b>	
	<b>C° sin aire incorporado</b>	<b>C° con aire incorporado</b>
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
<b>250</b>	<b>0.62</b>	0.53
<b>300</b>	<b>0.55</b>	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---

**Nota:** Fuente: Enrique Rivva López “Diseño de Mezclas”

Entrando en la tabla, para una resistencia promedio correspondiente a 294 kg/cm<sup>2</sup> en un concreto sin aire incorporado, se encuentra una relación agua-cemento de 0.56.

### Factor cemento

Factor cemento =  $205/0.56 = 366.07 \text{ kg/m}^3 = 8.6 \text{ bolsas/m}^3$

### Contenido de agregado grueso

Tabla 29

*Peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.*

Tamaño Máximo Nominal	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos módulos de fineza.			
	2.400	2.600	2.800	3.000
3/8	0.500	0.480	0.460	0.440
1/2	0.590	0.570	0.550	0.530
3/4	0.660	0.640	<b>0.620</b>	<b>0.600</b>
1	0.710	0.690	0.670	0.650
1 1/2	0.760	0.740	0.720	0.700
2	0.780	0.760	0.740	0.720
3	0.810	0.790	0.770	0.750
6	0.870	0.850	0.830	0.810

**Nota:** Fuente: Enrique Rivva López "Diseño de Mezclas"

Entrando a la tabla 29, con el módulo de fineza del agregado fino de 2.81 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de 3/4", se encuentra un valor de 0.619 metros cúbicos de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen del concreto.

Peso del agregado grueso =  $0.619 \times 1670 = 1033.73 \text{ kg/m}^3$ .

### Cálculo de volúmenes absolutos

Conocidos los pesos del cemento, agua y agregado grueso, así como el volumen de aire, se procede a calcular la suma de volúmenes absolutos de estos ingredientes:

Volumen absoluto de:

Según el análisis físico químico de minerales realizado en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno, el peso específico del cemento portland IP marca Rumi es: 2.99

Cemento:  $366.07/2.99 \times 1000 = 0.122 \text{ m}^3$   
Agua:  $205/1 \times 100 = 0.205 \text{ m}^3$   
Aire:  $0.02/1 \times 1 = 0.020 \text{ m}^3$   
Agregado Grueso:  $1033.73/2.67 \times 1000 = 0.387 \text{ m}^3$   
Suma de volúmenes conocidos: **0.7363 m<sup>3</sup>**

### **Contenido de agregado fino**

Volumen absoluto A. Fino =  $1 - 0.7363 = 0.2640 \text{ m}^3$

Peso del A. Fino Seco =  $0.2640 \times 2.58 \times 1000 = 681.12 \text{ kg/m}^3$

### **Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso**

Cemento:  $366.07 \text{ kg/m}^3$   
Agua de diseño:  $205 \text{ Lt/m}^3$   
Agregado Fino seco:  $681.12 \text{ kg/m}^3$   
Agregado Grueso seco:  $1034.35 \text{ kg/m}^3$   
Peso de la mezcla: **2286.54 kg/m<sup>3</sup>**

### **Corrección por humedad del agregado**

Peso húmedo del:

Agregado Fino =  $681.12 \times 1.0434 = 710.68 \text{ kg/m}^3$

Agregado Grueso =  $1034.35 \times 1.0137 = 1048.52 \text{ kg/m}^3$

### **Contribución de agua de los agregados**

Humedad superficial de los Agregados

Agregado Fino =  $4.34 - 4.06 = 0.28\%$

Agregado Grueso =  $1.37 - 3.45 = -2.08\%$

Total = 1.80%

Aporte de humedad de los Agregados

Agregado Fino seco:  $681.12 * (0.0028) = 2 \text{ lt/m}^3$

Agregado Grueso seco:  $1034.35 * (-0.0208) = -22 \text{ lt/m}^3$

Aporte de humedad de los Agregados:  $-20 \text{ lt/m}^3$

Agua efectiva:  $205 - (-20) = 225 \text{ lt/m}^3$

### **Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto**

Cemento: 366 kg/m<sup>3</sup>

Agua efectiva: 225 lt/m<sup>3</sup>

Agregado Fino húmedo: 711 kg/m<sup>3</sup>

Agregado Grueso húmedo: 1049 kg/m<sup>3</sup>

### **Proporciones en peso de los materiales corregidos**

Cemento =  $366/366 = 1$

Agregado Fino =  $711/366 = 1.94$

Agregado Grueso =  $1049/366 = 2.86$

Agua =  $225/366 = 0.61$

### **Cantidad de materiales corregidos por Bolsa**

Cemento =  $1 * 42.5 = 42.5 \text{ Kg/Bol}$

Agua efectiva =  $0.61 * 42.5 = 25.9 \text{ lt/Bol}$

Agregado Fino =  $1.94 * 42.5 = 82.5 \text{ Kg/Bol}$

Agregado Grueso =  $2.86 * 42.5 = 121.6 \text{ Kg/Bol}$

### 3.5.3. Diseño de mezclas de concreto para diferentes porcentajes de ceniza volante

El Instituto Americano del Concreto, adopta el uso de cenizas volantes en sus recomendaciones para dosificar mezclas de concreto (ACI 211.1). Como regla general el ACI recomienda tratar las cenizas solo como un sustituto parcial del cemento, por lo que anota que en el proceso de dosificación ella debe tenerse en cuenta en la estimación de la relación agua-cemento (que ahora será agua - material cementante y se notará como  $a/c+cv$ ), en la determinación del contenido de cemento ( $c$ ), y por supuesto, en la determinación del contenido de cenizas ( $cv$ ).

El contenido de cenizas se especifica como un porcentaje en masa ( $Fw$ ) o en volumen ( $Fv$ ) del total de material cementante.

Para determinar el contenido de cenizas el ACI anota: "los métodos para proporcionar y evaluar las mezclas de concreto que contienen cenizas volantes pueden basarse en mezclas de prueba usando un rango de proporciones de ingredientes y evaluando sus efectos en la resistencia, los requerimientos de agua, y otras propiedades para determinar la cantidad óptima de cenizas, los siguientes son rangos generales basados en el porcentaje de cenizas por el peso total de material cementante usado en la mezcla para concreto estructural: Clase F - 15 al 25% y Clase C - 15 al 35% "

Giraldo (2006) "La relación  $a/(c+cv)$  se obtiene partiendo de la relación  $a/c$  obtenida según el acápite anterior, para esto el ACI recomienda el uso de equivalencias en volumen o equivalencias en peso".

$$\frac{a}{c+cv} = \frac{PEC \times \frac{a}{c}}{PEC \times (1-Fv) + PECv \times (Fv)}, \text{Equivalencia en volumen}$$

$$\frac{a}{c+cv} = \frac{a}{c}, \text{Equivalencia en peso}$$

$$Fv = \frac{1}{1 + \left(\frac{PECv}{PEC}\right) \times \left(\frac{1}{Fw} - 1\right)}$$

Dónde: PEc: Peso específico del cemento.  
 PEcv: Peso específico de las cenizas volantes.  
 Fv: Porcentaje en volumen de las cenizas, en el volumen total de material cementicio.  
 Fw: Porcentaje en masa de la ceniza en la masa total de material cementicio.

### 3.5.3.1. Método por volumen absoluto equivalente.

El proceso de diseño de mezclas por este método se detalla en los anexos, donde se sigue el procedimiento indicado en los acápite anteriores.

Enseguida se muestra el resumen de las proporciones halladas:

Tabla 30  
*Resumen de materiales por el método de volumen absoluto equivalente.*

Descripción	Pesos kg/m <sup>3</sup>					
	100%	95%	90%	85%	80%	75%
<b>% Cemento</b>	<b>100%</b>	<b>95%</b>	<b>90%</b>	<b>85%</b>	<b>80%</b>	<b>75%</b>
<b>% Ceniza volante</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>25%</b>
Relación a/(c +cv)	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.59
Cemento	366	342	324	300	283	261
Ceniza volante	0	18	36	53	71	87
Agregado fino	711	713	711	711	708	711
Agregado grueso	1049	1049	1049	1049	1049	1049
Agua	225	225	225	225	225	225
Relación a/(c +cv) Efectiva	0.61	0.62	0.62	0.64	0.64	0.65
Material cementante	366	360	360	353	354	348

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 30, a medida que se sustituye la ceniza volante por el cemento, el total del material cementante (cemento + ceniza volante) va disminuyendo en peso.

Giraldo (2006) Dada la disminución, al incluir ceniza volante, en la resistencia del concreto a edades tempranas, se recomienda utilizar una equivalencia diferente a las propuestas por el ACI ya que mediante el uso de las equivalencias por volumen o por peso por él propuestas, el valor de la relación a/ resulta mayor o igual que la relación a/c, obteniendo resistencias mucho menores a los 28 días que las obtenidas sin remplazar con cenizas.

$$\frac{a}{c + cv} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * F_W^2}$$

Donde:  $F_W$  : Contenido de cenizas (% en peso del cemento)

$\frac{a}{c}$  : Relación agua-cemento en peso para el concreto sin adiciones.

$\frac{a}{c+cv}$ : Relación agua-material cementante (o agua - cemento + ceniza) en peso, recomendada.

Giraldo (2006) Aunque uno de los efectos de las cenizas en el concreto en estado fresco, anotado por varios autores, consiste en la reducción de las necesidades de agua para producir una trabajabilidad dada, se ha encontrado que la variación no es significativa, por lo que la estimación del contenido inicial de agua ( $a$ ) se mantiene igual a lo señalado en el diseño del concreto patrón (sin cenizas volantes).

### 3.5.3.2. Método por peso equivalente

El proceso de diseño de mezclas por este método se detalla en los anexos, donde se sigue el procedimiento indicado en los acápite anteriores.

Enseguida se muestra el resumen de las proporciones halladas:

Tabla 31

*Resumen de materiales por el método de volumen absoluto equivalente.*

Descripción	Pesos kg/m <sup>3</sup>					
	100%	95%	90%	85%	80%	75%
<b>% Cemento</b>	<b>100%</b>	<b>95%</b>	<b>90%</b>	<b>85%</b>	<b>80%</b>	<b>75%</b>
<b>% Ceniza volante</b>	<b>0%</b>	<b>5%</b>	<b>10%</b>	<b>15%</b>	<b>20%</b>	<b>25%</b>
Relación a/(c +cv)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Cemento	366	348	329	311	293	275
Ceniza volante	0	18	37	55	73	92
Agregado fino	711	708	703	700	697	695
Agregado grueso	1049	1049	1049	1049	1049	1049
Agua	225	225	225	225	225	225
Relación a/(c +cv) Efectiva	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
Material cementante	366	366	366	366	366	367

**Nota:** Fuente: Elaboración propia

### **3.5.4. Elaboración de testigos**

Para la presente investigación se utilizó briquetas cilíndricas de 5.91” x 11.81” (150 mm x 300 mm) y de 3.94”x7.87” (100mm x 200mm) luego se almacenaron hasta que endurezcan en las condiciones de curado.

#### **El equipo necesario**

- Mezcladora de concreto tipo trompo de 9 Pie<sup>3</sup>
- Una carretilla buggy para el transporte del concreto fresco.
- 30 moldes para formar los especímenes fueron de metal, los primeros obtenidos, las dimensiones requeridas para la elaboración de testigos de 5.91” x 11.81” y 6 moldes metálicos para la elaboración de los testigos 3.94” x 7.87”.
- Varilla apisonadora con punta de bala de 5/8” de diámetro y 60cm de longitud.
- Combo de goma de 0.5 kg.
- Cucharon para el muestreo y plancha de albañilería
- Cono de abrams y/o asentamiento.
- Plancha de base para el cono de abrams.

#### **Moldeado de los cilindros de prueba**

- Se colocó los moldes de cilindros en una superficie nivelada.
- Se pasó con petróleo la pared y la base interior de los moldes cilíndricos.
- Se llenó el molde en tres capas iguales con la cuchara.
- Se compactó la capa apisonando 25 veces uniformemente distribuidas en cada capa.
- Se enrazó la parte superior con la plancha de albañil para obtener una superficie lisa y nivelada.
- Finalmente se le marco en la superficie la fecha y el tipo de concreto vaciado.

#### **3.5.4.1. Proceso de curado de testigos**

Para el curado de los testigos se utilizó un ambiente:

En una poza de curado con las siguientes características, largo: 3.00 m, ancho 1.10 m y 1.10 m de alto, ésta ubicada en la ex lavandería ahora depósito de Ingeniería Civil.

Respecto al curado, el Reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma E-60, indica: “El concreto deberá ser curado y mantenido sobre los 10°C por lo menos los 7 primeros días después de su colocación; en el caso de concreto con alta resistencia inicial este tiempo podrá reducirse a 3 días.

Si se usa cemento tipo IP o IPM el curado deberá mantenerse como mínimo los primeros 10 días, enseguida dichas muestras fueron introducidas en la poza de curado hasta esperar su turno para ser sometidas a los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días.

Las muestras de concreto han sido extraídas de los moldes a las 24 horas del colocado de concreto, según la norma ASTM C – 192 las muestras deben ser sumergidas en agua o en un ambiente con un 95% de humedad relativa y a una temperatura mínima de  $23 \pm 2$  °C. Pero esta condición de la temperatura para efectos del presente trabajo, no se lograron cumplir, se ha tomado la decisión que el agua usada en el proceso de curado sea la misma que viene de la red pública. En lo posible se ha tratado de mantener la temperatura del agua de curado a 13°C, ya que estas temperaturas son muy representativas del ambiente del departamento de Puno, ciudad de Juliaca.

## Capítulo IV: Resultados y discusión

### 4.1. Presentación de resultados

#### 4.1.1. Trabajabilidad

Para medir la trabajabilidad de las mezclas se utilizó la prueba de revenimiento, o asentamiento en el cono de Abrahams, siguiendo la norma ASTM C 143.

Con el ensayo de asentamiento se logra apreciar una clara influencia de la presencia de la ceniza volante en el concreto fresco.

Los resultados de los ensayos se muestran en la tabla 32:

Tabla 32

*Medida de asentamientos tomados en diferentes fechas de colocado de concreto.*

<b>MEDIDAS DEL ASENTAMIENTO TOMADAS EN DIFERENTES FECHAS DE COLOCADO DE CONCRETO</b>					
<b>CENIZA VOLANTE</b>	<b>CEMENTO</b>	<b>cm</b>	<b>Pulgadas</b>	<b>PROMEDIO</b>	
				<b>cm</b>	<b>Pulgadas</b>
<b>Fecha de Medición</b>		<b>29 de octubre de 2017</b>			
		9.8	3.86 "		
		9.7	3.82 "		
0%	100%	9.1	3.58 "	9.42	3.71 "
		9.3	3.66 "		
		9.2	3.62 "		
<b>Fecha de Medición</b>		<b>30 de octubre de 2017</b>			
		9.6	3.78 "		
		8.4	3.31 "		
5%	95%	8.8	3.46 "	8.94	3.52 "
		8.9	3.50 "		
		9	3.54 "		
<b>Fecha de Medición</b>		<b>31 de octubre de 2017</b>			
		9.5	3.74 "		
		8.7	3.43 "		
10%	90%	8.3	3.27 "	8.72	3.43 "
		8.6	3.39 "		
		8.5	3.35 "		

Fecha de Medición		01 de noviembre de 2017			
15%	85%	8.7	3.43 "		
		8.4	3.31 "		
		8.1	3.19 "	8.46	3.33 "
		8.5	3.35 "		
		8.6	3.39 "		
Fecha de Medición		02 de noviembre de 2017			
20%	80%	7.8	3.07 "		
		7.5	2.95 "		
		7.4	2.91 "	7.54	2.97 "
		7.9	3.11 "		
		7.1	2.80 "		
Fecha de Medición		03 de noviembre de 2017			
25%	85%	5.6	2.20 "		
		4.9	1.93 "		
		5.3	2.09 "	5.18	2.04 "
		5.1	2.01 "		
		5.00	1.97 "		

Nota: Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Resistencia a la compresión

Tabla 33

Resistencia a la compresión del concreto con 100% de cemento + 0 % de ceniza volante a una edad de 7 días.

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
7	15.08	178.60	210	23810	133.31	63.48%	67%	-3.52%	61.43%
7	14.99	176.48	210	22270	126.19	60.09%	67%	-6.91%	
7	14.96	175.77	210	22710	129.20	61.52%	67%	-5.48%	
7	15.00	176.71	210	23250	131.57	62.65%	67%	-4.35%	
7	15.00	176.71	210	21890	123.87	58.99%	67%	-8.01%	
7	14.99	176.48	210	22120	125.34	59.69%	67%	-7.31%	
7	15.00	176.71	210	22440	126.98	60.47%	67%	-6.53%	
7	14.98	176.24	210	23410	132.83	63.25%	67%	-3.75%	
7	15.04	177.66	210	22410	126.14	60.07%	67%	-6.93%	
7	15.01	176.95	210	22480	127.04	60.50%	67%	-6.50%	
7	10.01	78.70	210	10420	132.41	63.05%	67%	-3.95%	
7	10.02	78.85	210	10490	133.03	63.35%	67%	-3.65%	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34

*Resistencia a la compresión del concreto con 100% de cemento + 0 % de ceniza volante a una edad de 14 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
14	15.12	179.55	210	27060	150.71	71.77%	86%	-14.23%	75.00%
14	15.13	179.79	210	27670	153.90	73.29%	86%	-12.71%	
14	15.06	178.13	210	28190	158.25	75.36%	86%	-10.64%	
14	15.07	178.37	210	29180	163.59	77.90%	86%	-8.10%	
14	15.04	177.66	210	28820	162.22	77.25%	86%	-8.75%	
14	15.03	177.42	210	28590	161.14	76.73%	86%	-9.27%	
14	15.13	179.79	210	27550	153.23	72.97%	86%	-13.03%	
14	15.08	178.60	210	28710	160.75	76.55%	86%	-9.45%	
14	15.30	183.85	210	27860	151.53	72.16%	86%	-13.84%	
14	15.40	186.27	210	29110	156.28	74.42%	86%	-11.58%	
14	10.00	78.54	210	12480	158.90	75.67%	86%	-10.33%	
14	9.99	78.38	210	12510	159.60	76.00%	86%	-10.00%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35

*Resistencia a la compresión del concreto con 100% de cemento + 0 % de ceniza volante a una edad de 28 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
28	15.12	179.55	210	39290	218.82	104.20%	100%	4.20%	103.24%
28	15.00	176.71	210	38490	217.81	103.72%	100%	3.72%	
28	14.99	176.48	210	36910	209.15	99.59%	100%	-0.41%	
28	15.10	179.08	210	37100	207.17	98.65%	100%	-1.35%	
28	15.09	178.84	210	38240	213.82	101.82%	100%	1.82%	
28	15.02	177.19	210	37680	212.66	101.27%	100%	1.27%	
28	15.07	178.37	210	38970	218.48	104.04%	100%	4.04%	
28	15.11	179.32	210	39120	218.16	103.89%	100%	3.89%	
28	15.04	177.66	210	37110	208.88	99.47%	100%	-0.53%	
28	15.08	178.60	210	39990	223.90	106.62%	100%	6.62%	
28	10.02	78.85	210	17730	224.85	107.07%	100%	7.07%	
28	10.06	79.49	210	18110	227.84	108.50%	100%	8.50%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36

Resistencia a la compresión del concreto con 95% de cemento + 5 % de ceniza volante a una edad de 7 días.

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
7	15.00	176.71	210	18540	104.91	49.96%	67%	-17.04%	50.77%
7	15.01	176.95	210	18500	104.55	49.79%	67%	-17.21%	
7	15.04	177.66	210	19550	110.04	52.40%	67%	-14.60%	
7	15.00	176.71	210	17550	99.31	47.29%	67%	-19.71%	
7	15.04	177.66	210	19000	106.95	50.93%	67%	-16.07%	
7	10.01	78.70	210	18170	102.68	48.90%	67%	-18.10%	
7	15.05	177.89	210	18610	104.61	49.82%	67%	-17.18%	
7	15.04	177.66	210	18770	105.65	50.31%	67%	-16.69%	
7	15.01	176.95	210	18790	106.19	50.57%	67%	-16.43%	
7	15.02	177.19	210	17760	100.23	47.73%	67%	-19.27%	
7	10.00	78.54	210	9170	116.76	55.60%	67%	-11.40%	
7	9.99	78.38	210	9210	117.50	55.95%	67%	-11.05%	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37

Resistencia a la compresión del concreto con 95% de cemento + 5 % de ceniza volante a una edad de 14 días.

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
14	15.19	181.22	210	28280	158.97	74.31%	86%	-11.69%	73.57%
14	15.01	176.95	210	27410	154.90	73.76%	86%	-12.24%	
14	15.02	177.19	210	28250	159.44	75.92%	86%	-10.08%	
14	15.12	179.55	210	27230	151.65	72.22%	86%	-13.78%	
14	15.09	178.84	210	29330	164.00	78.10%	86%	-7.90%	
14	15.05	177.89	210	26930	151.38	72.09%	86%	-13.91%	
14	15.11	179.32	210	27140	151.35	72.07%	86%	-13.93%	
14	15.07	178.37	210	26580	149.02	70.96%	86%	-15.04%	
14	15.12	179.55	210	27260	151.82	72.30%	86%	-13.70%	
14	15.10	179.08	210	28620	159.82	76.10%	86%	-9.90%	
14	10.05	79.33	210	11980	151.02	71.91%	86%	-14.09%	
14	9.97	78.07	210	11990	153.58	73.13%	86%	-12.87%	

Nota: Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

*Resistencia a la compresión del concreto con 95% de cemento + 5 % de ceniza volante a una edad de 28 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
28	15.10	179.08	210	41140	229.73	109.40%	100%	9.40%	111.01%
28	15.05	177.89	210	41180	231.49	110.23%	100%	10.23%	
28	15.00	176.71	210	41590	235.35	112.07%	100%	12.07%	
28	15.01	176.95	210	40380	228.20	108.67%	100%	8.67%	
28	14.98	176.24	210	40690	230.87	109.94%	100%	9.94%	
28	15.04	177.66	210	41280	232.36	110.65%	100%	10.65%	
28	14.98	176.24	210	41090	233.14	111.02%	100%	11.02%	
28	15.12	179.55	210	40690	226.62	107.91%	100%	7.91%	
28	15.01	176.95	210	41280	233.29	111.09%	100%	11.09%	
28	14.99	176.48	210	41410	234.65	111.74%	100%	11.74%	
28	10.07	79.64	210	19190	240.95	114.74%	100%	14.74%	
28	10.01	78.70	210	18950	240.80	114.67%	100%	14.67%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39

*Resistencia a la compresión del concreto con 90% de cemento + 10 % de ceniza volante a una edad de 7 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
7	15.06	178.13	210	16780	94.20	44.86%	67%	-22.14%	46.51%
7	15.10	179.08	210	16210	90.52	43.10%	67%	-23.90%	
7	15.11	179.32	210	16890	94.19	44.85%	67%	-22.15%	
7	15.01	176.95	210	17130	96.81	46.10%	67%	-20.90%	
7	15.07	178.37	210	17250	96.71	46.05%	67%	-20.95%	
7	15.09	178.84	210	16580	92.71	44.15%	67%	-22.85%	
7	15.05	177.89	210	16760	94.21	44.86%	67%	-22.14%	
7	15.06	178.13	210	16020	89.93	42.83%	67%	-24.17%	
7	15.10	179.08	210	18370	102.58	48.85%	67%	-18.15%	
7	15.10	179.08	210	18220	101.74	48.45%	67%	-18.55%	
7	10.06	79.49	210	8650	108.83	51.82%	67%	-15.18%	
7	10.00	78.54	210	8610	109.63	52.20%	67%	-14.80%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40

*Resistencia a la compresión del concreto con 90% de cemento + 10 % de ceniza volante a una edad de 14 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
14	15.13	179.79	210	23620	131.37	62.56%	86%	-23.44%	66.71%
14	15.08	178.60	210	24960	139.75	66.55%	86%	-19.45%	
14	15.10	179.08	210	24170	134.97	64.27%	86%	-21.73%	
14	15.12	179.55	210	24490	136.39	64.95%	86%	-21.05%	
14	15.06	178.13	210	24050	135.01	64.29%	86%	-21.71%	
14	15.06	178.13	210	24700	138.66	66.03%	86%	-19.97%	
14	15.01	176.95	210	26960	152.36	72.55%	86%	-13.45%	
14	15.13	179.79	210	27030	150.34	71.59%	86%	-14.41%	
14	15.10	179.08	210	25400	141.84	67.54%	86%	-18.46%	
14	15.11	179.32	210	24170	134.79	64.19%	86%	-21.81%	
14	9.99	78.38	210	11170	142.51	67.86%	86%	-18.14%	
14	9.98	78.23	210	11190	143.05	68.12%	86%	-17.88%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41

*Resistencia a la compresión del concreto con 90% de cemento + 10 % de ceniza volante a una edad de 28 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
28	15.12	179.55	210	40230	224.06	106.69%	100%	6.69%	107.93%
28	15.13	179.79	210	41290	229.66	109.36%	100%	9.36%	
28	15.10	179.08	210	41110	229.56	109.32%	100%	9.32%	
28	15.08	178.60	210	40100	224.52	106.91%	100%	6.91%	
28	15.03	177.42	210	39980	225.34	107.30%	100%	7.30%	
28	15.02	177.19	210	40010	225.81	107.53%	100%	7.53%	
28	15.00	176.71	210	40030	226.52	107.87%	100%	7.87%	
28	14.99	176.48	210	40100	227.22	108.20%	100%	8.20%	
28	14.98	176.24	210	39930	226.56	107.89%	100%	7.89%	
28	15.16	180.50	210	40250	222.99	106.18%	100%	6.18%	
28	10.00	78.54	210	17860	227.40	108.29%	100%	8.29%	
28	10.01	78.70	210	18110	230.12	109.58%	100%	9.58%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42

*Resistencia a la compresión del concreto con 85% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 7 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
7	15.12	179.55	210	15650	87.16	41.51%	67%	-25.49%	43.75%
7	15.11	179.32	210	16070	89.62	42.68%	67%	-24.32%	
7	15.09	178.84	210	14890	83.26	39.65%	67%	-27.35%	
7	15.16	180.50	210	15850	87.81	41.81%	67%	-25.19%	
7	15.18	180.98	210	15090	83.38	39.70%	67%	-27.30%	
7	15.20	181.46	210	16250	89.55	42.64%	67%	-24.36%	
7	14.95	175.54	210	16140	91.95	43.78%	67%	-23.22%	
7	15.02	177.19	210	17200	97.07	46.23%	67%	-20.77%	
7	15.07	178.37	210	17640	98.90	47.09%	67%	-19.91%	
7	15.12	179.55	210	15900	88.55	42.17%	67%	-24.83%	
7	10.07	79.64	210	8110	101.83	48.49%	67%	-18.51%	
7	9.99	78.38	210	8100	103.34	49.21%	67%	-17.79%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43

*Resistencia a la compresión del concreto con 85% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 14 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
14	15.09	178.84	210	22140	123.80	58.95%	86%	-27.05%	60.75%
14	15.10	179.08	210	23280	130.00	61.90%	86%	-24.10%	
14	15.02	177.19	210	23820	134.43	64.02%	86%	-21.98%	
14	15.04	177.66	210	24540	138.13	65.78%	86%	-20.22%	
14	15.00	176.71	210	23530	133.15	63.41%	86%	-22.59%	
14	14.99	176.48	210	22450	127.21	60.58%	86%	-25.42%	
14	15.00	176.71	210	21570	122.06	58.12%	86%	-27.88%	
14	14.98	176.24	210	21310	120.91	57.58%	86%	-28.42%	
14	14.99	176.48	210	21910	124.15	59.12%	86%	-26.88%	
14	15.03	177.42	210	21100	118.93	56.63%	86%	-29.37%	
14	10.05	79.33	210	10250	129.21	61.53%	86%	-24.47%	
14	10.01	78.70	210	10140	128.85	61.36%	86%	-24.64%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44

*Resistencia a la compresión del concreto con 85% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 28 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
28	15.10	179.08	210	39380	219.90	104.72%	100%	4.72%	101.93%
28	15.02	177.19	210	40120	226.43	107.82%	100%	7.82%	
28	15.18	180.98	210	40100	221.57	105.51%	100%	5.51%	
28	14.98	176.24	210	39870	226.22	107.72%	100%	7.72%	
28	15.19	181.22	210	38110	210.30	100.14%	100%	0.14%	
28	15.20	181.46	210	38020	209.52	99.77%	100%	-0.23%	
28	15.00	176.71	210	38020	215.15	102.45%	100%	2.45%	
28	15.03	177.42	210	38000	214.18	101.99%	100%	1.99%	
28	14.97	176.01	210	39120	222.26	105.84%	100%	5.84%	
28	14.99	176.48	210	29730	168.46	80.22%	100%	-19.78%	
28	10.00	78.54	210	16910	215.30	102.53%	100%	2.53%	
28	10.00	78.54	210	17230	219.38	104.47%	100%	4.47%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

*Resistencia a la compresión del concreto con 80% de cemento + 20 % de ceniza volante a una edad de 7 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
7	15.03	177.42	210	13430	75.70	36.05%	67%	-30.95%	37.08%
7	15.05	177.89	210	13490	75.83	36.11%	67%	-30.89%	
7	15.02	177.19	210	14170	79.97	38.08%	67%	-28.92%	
7	15.06	178.13	210	13510	75.84	36.12%	67%	-30.88%	
7	15.03	177.42	210	13420	75.64	36.02%	67%	-30.98%	
7	15.08	178.60	210	13740	76.93	36.63%	67%	-30.37%	
7	15.08	178.60	210	13600	76.15	36.26%	67%	-30.74%	
7	15.13	179.79	210	13560	75.42	35.91%	67%	-31.09%	
7	15.04	177.66	210	13650	76.83	36.59%	67%	-30.41%	
7	15.04	177.66	210	14710	82.80	39.43%	67%	-27.57%	
7	10.07	79.64	210	6540	82.12	39.10%	67%	-27.90%	
7	10.09	79.96	210	6490	81.17	38.65%	67%	-28.35%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46

*Resistencia a la compresión del concreto con 80% de cemento + 20 % de ceniza volante a una edad de 14 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
14	15.03	177.42	210	19960	112.50	53.57%	86%	-32.43%	48.60%
14	15.10	179.08	210	17430	97.33	46.35%	86%	-39.65%	
14	15.00	176.71	210	17700	100.16	47.70%	86%	-38.30%	
14	14.99	176.48	210	18920	107.21	51.05%	86%	-34.95%	
14	15.07	178.37	210	17840	100.02	47.63%	86%	-38.37%	
14	15.04	177.66	210	17750	99.91	47.58%	86%	-38.42%	
14	15.12	179.55	210	17800	99.13	47.21%	86%	-38.79%	
14	15.11	179.32	210	17990	100.33	47.77%	86%	-38.23%	
14	15.09	178.84	210	18380	102.77	48.94%	86%	-37.06%	
14	15.17	180.74	210	17840	98.70	47.00%	86%	-39.00%	
14	10.04	79.17	210	8120	102.56	48.84%	86%	-37.16%	
14	10.03	79.01	210	8230	104.16	49.60%	86%	-36.40%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47

*Resistencia a la compresión del concreto con 80% de cemento + 20 % de ceniza volante a una edad de 28 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
28	15.01	176.95	210	35110	198.42	94.48%	100%	-5.52%	93.98%
28	15.02	177.19	210	35120	198.21	94.39%	100%	-5.61%	
28	15.03	177.42	210	35100	197.83	94.21%	100%	-5.79%	
28	15.00	176.71	210	35740	202.25	96.31%	100%	-3.69%	
28	15.09	178.84	210	35130	196.43	93.54%	100%	-6.46%	
28	15.11	179.32	210	35910	200.26	95.36%	100%	-4.64%	
28	15.04	177.66	210	35010	197.06	93.84%	100%	-6.16%	
28	14.99	176.48	210	35100	198.89	94.71%	100%	-5.29%	
28	14.98	176.24	210	35220	199.84	95.16%	100%	-4.84%	
28	15.07	178.37	210	35100	196.78	93.71%	100%	-6.29%	
28	10.00	78.54	210	15010	191.11	91.01%	100%	-8.99%	
28	10.03	79.01	210	15100	191.11	91.01%	100%	-8.99%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48

*Resistencia a la compresión del concreto con 75% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 7 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
7	15.04	177.66	210	11930	67.15	31.98%	67%	-35.02%	31.37%
7	15.00	176.71	210	10890	61.62	29.35%	67%	-37.65%	
7	15.02	177.19	210	12070	68.12	32.44%	67%	-34.56%	
7	15.08	178.60	210	12010	67.24	32.02%	67%	-34.98%	
7	15.00	176.71	210	10920	61.79	29.43%	67%	-37.57%	
7	15.27	183.13	210	11240	61.38	29.23%	67%	-37.77%	
7	15.27	183.13	210	12100	66.07	31.46%	67%	-35.54%	
7	15.29	183.61	210	12060	65.68	31.28%	67%	-35.72%	
7	15.21	181.70	210	13150	72.37	34.46%	67%	-32.54%	
7	15.00	176.71	210	12210	69.09	32.90%	67%	-34.10%	
7	10.00	78.54	210	5120	65.19	31.04%	67%	-35.96%	
7	10.09	79.96	210	5190	64.91	30.91%	67%	-36.09%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 49

*Resistencia a la compresión del concreto con 75% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 14 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
14	15.01	176.95	210	16450	92.96	44.27%	86%	-41.73%	43.13%
14	15.12	179.55	210	15630	87.05	41.45%	86%	-44.55%	
14	15.06	178.13	210	15450	86.73	41.30%	86%	-44.70%	
14	15.08	178.60	210	17100	95.74	45.59%	86%	-40.41%	
14	15.00	176.71	210	14310	80.98	38.56%	86%	-47.44%	
14	14.98	176.24	210	14890	84.49	40.23%	86%	-45.77%	
14	14.99	176.48	210	15630	88.57	42.17%	86%	-43.83%	
14	15.02	177.19	210	16830	94.98	45.23%	86%	-40.77%	
14	15.02	177.19	210	16440	92.78	44.18%	86%	-41.82%	
14	14.99	176.48	210	16070	91.06	43.36%	86%	-42.64%	
14	10.03	79.01	210	7610	96.31	45.86%	86%	-40.14%	
14	10.10	80.12	210	7630	95.23	45.35%	86%	-40.65%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 50

*Resistencia a la compresión del concreto con 75% de cemento + 15 % de ceniza volante a una edad de 28 días.*

Edad (días)	Diametro	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño	Fuerza	Resistencia	% Resistencia	% Resistencia a alcanzar	% Incremento/Disminución	% Promedio de Resistencia
28	15.00	176.71	210	33210	187.93	89.49%	100%	-10.51%	
28	14.99	176.48	210	32220	182.57	86.94%	100%	-13.06%	
28	14.98	176.24	210	32110	182.19	86.76%	100%	-13.24%	
28	15.02	177.19	210	32340	182.52	86.91%	100%	-13.09%	
28	15.05	177.89	210	31930	179.49	85.47%	100%	-14.53%	
28	15.09	178.84	210	31920	178.48	84.99%	100%	-15.01%	
28	15.12	179.55	210	32010	178.28	84.89%	100%	-15.11%	86.09%
28	15.10	179.08	210	32190	179.75	85.60%	100%	-14.40%	
28	15.05	177.89	210	31320	176.06	83.84%	100%	-16.16%	
28	14.99	176.48	210	32170	182.29	86.80%	100%	-13.20%	
28	10.00	78.54	210	14110	179.65	85.55%	100%	-14.45%	
28	10.01	78.70	210	14180	180.18	85.80%	100%	-14.20%	

**Nota:** Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. Interpretación de resultados

El análisis de los resultados obtenidos en los ensayos llevados a cabo en la investigación constituye una parte esencial y de suma importancia, realizar un aporte en cuanto a los concretos con ceniza volante.

Los materiales usados para la presente investigación fueron:

- Agregado fino, procedente de la cantera maravillas.
- Agregado grueso, procedente de la cantera surupana.
- Cemento portland rumi Tipo IP.
- Ceniza volante, procedente de la Central Termoeléctrica Ilo21.
- Agua, suministro de la ciudad Universidad Peruana Unión.

### Ensayos preliminares

- Se realizaron ensayos a los agregados (fino y grueso) para poder hallar sus propiedades físicas. También se hizo el análisis químico de la ceniza volante, para conocer si cumple para ser colocado en el concreto.

- Para el concreto patrón, los porcentajes de arena y piedra para el agregado global se halló de acuerdo a las tablas indicadas en el método de diseño de mezclas del ACI.
- El porcentaje de dosificación de cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland en el concreto, se hizo de acuerdo a las conclusiones de investigaciones anteriores y construcciones realizadas anteriormente.
- Se utilizó un mismo diseño de mezclas para la elaboración del concreto, cabe indicar que se consideró la misma relación agua/cemento para todas las muestras de concreto (concreto normal y concreto con diferentes porcentajes de ceniza volante).
- Las condiciones de curado fueron realizadas a la temperatura de aproximadamente 10°C a 13°C. Cabe indicar que esta temperatura representa la temperatura del agua y del medio normal en nuestra zona.

#### **4.2.1 Agregados**

##### **Agregado fino**

- El agregado fino usado en la presente tesis de investigación es de la cantera “maravillas”. En la gráfica de la curva granulométrica se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por la Norma NTP 400.012.
- El módulo de fineza tiene un valor de 2.81.

##### **Agregado grueso**

- El agregado grueso usado en la presente tesis de investigación es de la cantera “surupana”. En la gráfica de la curva granulométrica se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por el Huso 57, determinado por la Norma NTP 400.037.
- Cabe indicar que la muestra tomada de agregado grueso, según el análisis granulométrico realizado en laboratorio el agregado más se acomodó al Huso 57, y para tener un resultado confiable se separó en cada tamaño que componen el agregado grueso según a los límites indicados de acuerdo al Huso 57.

### 4.3. Ceniza volante

La ceniza volante utilizada se puede apreciar que cumple con la norma ASTM-C-618 03 en la composición química, como se muestra en la tabla 51.

Tabla 51  
*Resultados de los ensayos químicos de la ceniza volante.*

<b>Descripción</b>	<b>Resultados obtenidos</b>	<b>Requisitos para la ceniza de Clase F</b>
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> ), min %	73.65	70.00
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), máx. %	0.7	5.00
Contenido de humedad, máx. %	1.25	3.00
Pérdida por calcinación, máx. %	3.91	6.00

**Nota:** Fuente: Análisis físico químico de la ceniza volante.

Con respecto a las recomendaciones de la ASTM-C-618 para las características Físicas que debe cumplir la ceniza volante, no se pudo encontrar un laboratorio especializado, ya que en nuestro medio existe muy poca investigación sobre este tema.

El peso específico de la ceniza volante fue de 2.50 gr/cm<sup>3</sup>.

Aunque no se pudo conseguir las características físicas, el estudio se hizo para medir las mejoras que la ceniza volante disponible en la central térmica Ilo21 le puede dar a las características del concreto.

### 4.4. Propiedades del concreto en estado fresco

#### 4.4.1. Trabajabilidad

El asentamiento de diseño fue de 3” a 4” (concreto trabajable), considerando así a la mezcla con consistencia plástica, además se trabajó con una misma cantidad de agua para todos los tipos de concreto.

Se evaluó la trabajabilidad con base en la prueba de revenimiento en el cono de Abrahams, ASTM C 143.

Tabla 52  
Resumen de resultados de ensayos de trabajabilidad.

<b>Cemento</b>	<b>Ceniza Volante</b>	<b>Asentamiento Promedio (pulg.)</b>	<b>% Trabajabilidad</b>	<b>% disminución trabajabilidad</b>
100%	0%	3.8 "	100.00%	0.00%
95%	5%	3.6 "	94.12%	5.88%
90%	10%	3.3 "	87.06%	12.94%
85%	15%	2.9 "	77.35%	22.65%
80%	20%	2.6 "	67.94%	32.06%
75%	25%	1.4 "	38.24%	61.76%

**Nota:** Fuente: Elaboración propia

Los valores porcentuales de la anterior se obtuvieron siguiendo el siguiente procedimiento:

- Para empezar se asume como la trabajabilidad al 100% al valor obtenido por la muestra de concreto normal (100% cemento + 0% ceniza volante).
- Seguidamente se procede a determinar el porcentaje de trabajabilidad de las muestras con adición de ceniza volante obteniéndose el porcentaje respecto al concreto normal, por ejemplo para el concreto “95% cemento + 5% ceniza volante”

$$\% \text{ de trabajabilidad} = \frac{3.6}{3.8} \times 100 = 94.12\%$$

- Así tenemos el valor de disminución de la trabajabilidad:

$$\% \text{ de Disminución trabajabilidad} = 100\% - 94.12\% = 5.88\%$$

Se observa que a medida que se aumenta la sustitución de ceniza volante por cemento a la mezcla de concreto, la consistencia es menor.

Según estos resultados se puede ver que la inclusión de ceniza volante a las mezclas no mejoró la trabajabilidad, por el contrario se obtuvieron menores revenimientos para las mezclas con ceniza volante.

Esto se debe a que el reemplazo de ceniza volante por cemento portland se hizo en peso, y al tener la ceniza volante una menor densidad que el cemento se tuvo un mayor volumen de cementantes. Para la validación de estos resultados se hará un análisis estadístico.

#### 4.5. Propiedades del concreto en estado endurecido

##### 4.5.1. Resistencia a la compresión

Se muestran los resultados promedios de resistencia final obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión para el concreto con diferentes porcentajes de ceniza volante a los 7, 14 y 28 días, tal como se muestra en la tabla 53.

Tabla 53  
*Resistencia a la compresión promedio obtenido.*

Concreto con:		Resistencia a la compresión con respecto a 210 kg/cm <sup>2</sup>					
Cemento	Ceniza volante	7 días		14 días		28 días	
		kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%
	Resistencia teórica	140.70	67.00%	180.60	86.00%	210.00	100.00%
0%	100%	128.99	61.43%	157.51	75.00%	216.80	103.24%
5%	95%	106.62	50.77%	154.75	73.69%	233.12	111.01%
10%	90%	97.67	46.51%	140.09	66.71%	229.65	107.93%
15%	85%	91.87	43.75%	127.57	60.75%	214.06	101.93%
20%	80%	77.87	37.08%	102.07	48.60%	197.35	93.98%
25%	75%	65.89	31.37%	90.57	43.13%	180.78	86.09%

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla 53 se pueden representar gráficamente, como indican en la siguiente figura 13.

A pesar que los antecedentes de investigaciones y construcciones realizadas con ceniza volante se obtuvieron resultados satisfactorios al reemplazar ceniza volante hasta un 25% del cemento, en la presente investigación se observa que se logra superar la resistencia concreto sólo hasta un 10% de ceniza volante como sustituto del cemento portland, frente al concreto patrón.

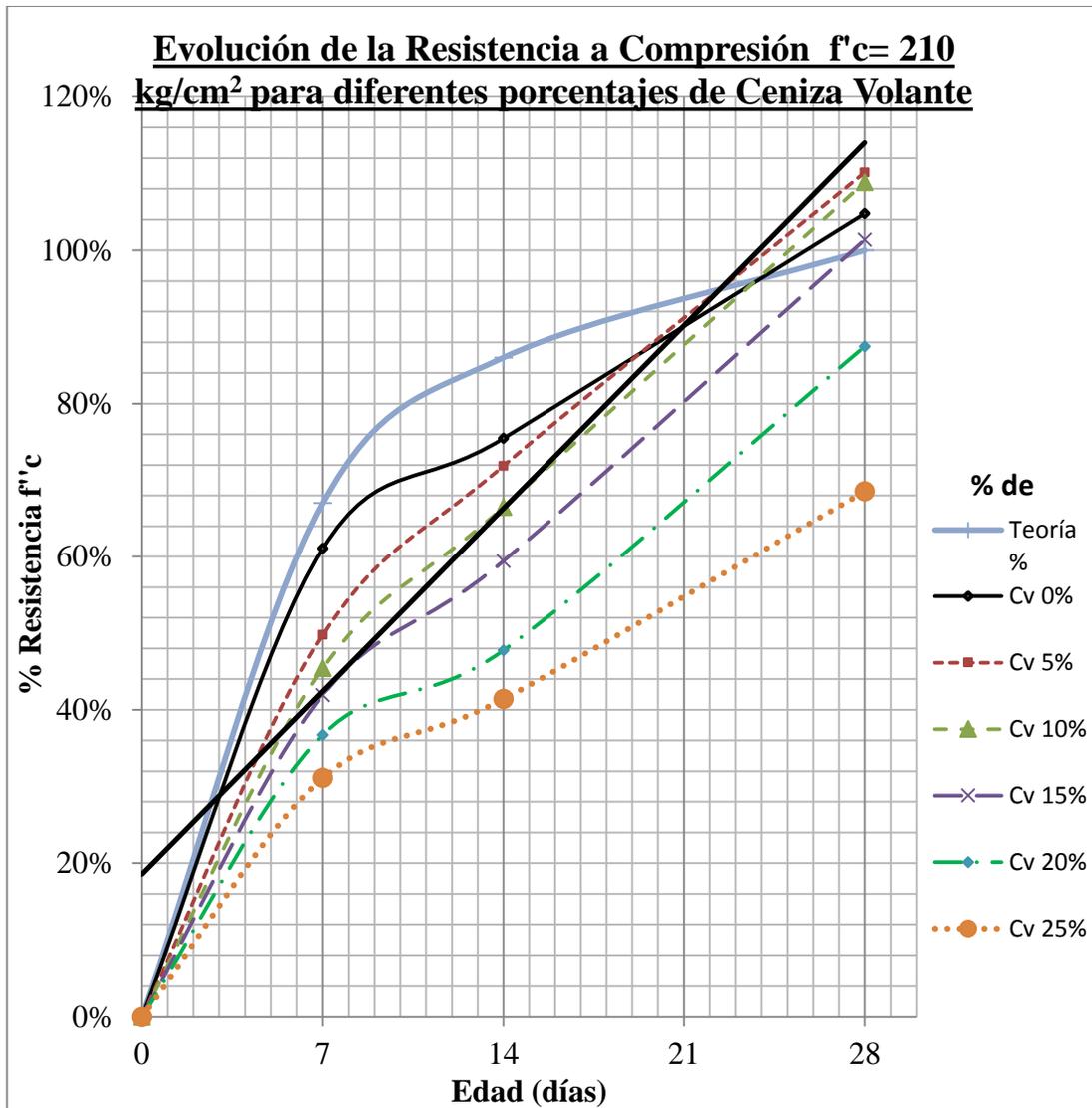


Figura 13. Evolución de la resistencia a la compresión obtenida para diferentes porcentajes de ceniza volante  
Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver la ceniza volante utilizada de la Central Termoeléctrica Ilo21 recién a los 28 días llega a superar en resistencia a la compresión frente al concreto sin cenizas volantes. Para la validación de estos resultados se hará un análisis estadístico.

#### 4.6. Prueba de hipótesis

La hipótesis a probar es la siguiente:

“La inclusión de porcentajes de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana mejora las características mecánicas del concreto patrón y/o convencional”.

Para esta situación lo que se va a probar es: Si las características mecánicas del concreto mejoran con el sustituto de cenizas volantes por el cemento, en distintas proporciones del peso de cemento de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, frente a un concreto patrón (sin cenizas volantes).

##### 4.6.1. Prueba de hipótesis para la resistencia a la compresión del concreto

###### Paso N° 01.- Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa

Se va a probar la hipótesis sobre la diferencia de medias, Si la resistencia del concreto mejora con el sustituto de cenizas volantes por el cemento, en distintas proporciones del peso de cemento de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, frente a un concreto patrón (sin cenizas volantes).

$H_0$ : La adición de un porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland no mejora la resistencia a compresión del concreto.

$H_1$ : La adición de un porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland mejora la resistencia a compresión del concreto.

La hipótesis Nula:  $H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$

La hipótesis Alternativa:  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C}$

Donde

$\mu_{\bar{x}_{CV}}$  : Representa a la media aritmética de la resistencia a compresión del concreto con diferentes proporciones de ceniza volante.

$\mu_{\bar{x}_C}$  : Representa la media aritmética del concreto patrón (sin ceniza volante).

## Paso N° 02: Nivel de significancia

Cruz Ramirez (2011), “en la práctica se acostumbra a utilizar niveles de significación del 0.05 ó 0.01, aunque igualmente pueden emplearse otros valores. Si, por ejemplo, se elige un nivel de significación del 0.05 ó 5 % al diseñar un ensayo de hipótesis, entonces hay aproximadamente 5 ocasiones en 100 en que se rechazaría la hipótesis cuando debería ser aceptada, es decir, se está con un 95 % de confianza de que se toma la decisión adecuada. En tal caso se dice que la hipótesis ha sido rechazada al nivel de significación del 0.05, lo que significa que se puede cometer error con una probabilidad de 0.05”.

Para nuestro caso usaremos un nivel de significancia de:  $\alpha = 0.05$

## Paso N° 03: Identificar o seleccionar el estadístico de prueba

Para la presente investigación se utilizará el t de Student para la prueba de Hipótesis, ya que tenemos variables independientes cuantitativas, el número de variables es menor a 30.

En los anexos se observa los datos distribuidos según una distribución normal de cada grupo, asimismo, en los anexos se realiza el test de la distribución F, para comprobar la homogeneidad de las varianzas entre los dos grupos. Los cuales son requisitos para aplicar el estadístico t de Student.

### Prueba de hipótesis con la Distribución T de Student

Como la hipótesis a probar es: La adición de un porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland mejora la resistencia a compresión del concreto.

Entonces nuestra hipótesis es de la forma:

$$\mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C}$$

Por consiguiente se trata de un Test de una cola, con:

Hipótesis nula:  $H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$

Hipótesis alternativa:  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C}$

El estadístico de prueba para una distribución t-student con  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad es el siguiente:

$$t_p = \frac{\bar{x}_{CV} - \bar{x}_C}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}; S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$\bar{X}_{cv}$ : Medias de las resistencias a compresión del concreto con cenizas volantes en distintas proporciones del peso de cemento de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%

$\bar{X}_c$ : Medias de las resistencias a compresión del concreto patrón (sin cenizas volantes)

Por ejemplo para la resistencia a compresión del concreto a los 7 días con “95% Cemento Portland + 5% Ceniza Volante” (95<sub>c</sub> + 5<sub>cv</sub>)

$$\text{Resolviendo: } S_p = \sqrt{\frac{(10-1)*9.95+(10-1)*10.87}{10+10-2}} = 3.23 \rightarrow t_p = \frac{104.51-128.25}{3.23*\sqrt{\frac{1}{10}+\frac{1}{10}}} = -16.43$$

Similarmente para los demás tipos de concreto para todos los 7, 14 y 28 días de edad.

Tabla 54

*Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto a una edad de 7 días.*

Nº de	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Kg-f/cm <sup>2</sup> ); Edad 7 días					
Ensayo	100 <sub>c</sub> +0 <sub>cv</sub>	95 <sub>c</sub> +5 <sub>cv</sub>	90 <sub>c</sub> +10 <sub>cv</sub>	85 <sub>c</sub> +15 <sub>cv</sub>	80 <sub>c</sub> +20 <sub>cv</sub>	75 <sub>c</sub> +25 <sub>cv</sub>
1	133.31	104.91	94.2	87.16	75.7	67.15
2	126.19	104.55	90.52	89.62	75.83	61.62
3	129.2	110.04	94.19	83.26	79.97	68.12
4	131.57	99.31	96.81	87.81	75.84	67.24
5	123.87	106.95	96.71	83.38	75.64	61.79
6	125.34	102.68	92.71	89.55	76.93	61.38
7	126.98	104.61	94.21	91.95	76.15	66.07
8	132.83	105.65	89.93	97.07	75.42	65.68
9	126.14	106.19	102.58	98.9	76.83	72.37
10	127.04	100.23	101.74	88.55	82.8	69.09
<b>n<sub>i</sub></b>	10	10	10	10	10	10
<b>X<sub>i</sub>=</b>	128.25	104.51	95.36	89.73	77.11	66.05
<b>S<sup>2</sup></b>	10.87	9.95	17.86	26.31	5.76	12.87
<b>X<sub>cv</sub>-X<sub>c</sub> =</b>		-23.74	-32.89	-38.52	-51.14	-62.20
<b>S<sub>p</sub>=</b>		3.23	3.79	4.31	2.88	3.45
<b>t<sub>p</sub>=</b>		-16.43	-19.40	-19.98	-39.71	-40.31

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 55  
Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto a una edad de 14 días.

N° de	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Kg-f/cm <sup>2</sup> ); Edad 14 días					
Ensayo	100C+0CV	95C+5CV	90C+10CV	85C+15CV	80C+20CV	75C+25CV
1	150.71	158.97	131.37	123.8	112.5	92.96
2	153.9	154.9	139.75	130.00	97.33	87.05
3	158.25	159.44	134.97	134.43	100.16	86.73
4	163.59	151.65	136.39	138.13	107.21	95.74
5	162.22	164	135.01	133.15	100.02	80.98
6	161.14	151.38	138.66	127.21	99.91	84.49
7	153.23	151.35	152.36	122.06	99.13	88.57
8	160.75	149.02	150.34	120.91	100.33	94.98
9	151.53	151.82	141.84	124.15	102.77	92.78
10	156.28	159.82	134.79	118.93	98.7	91.06
<b>n<sub>i</sub></b>	10	10	10	10	10	10
<b>X<sub>i</sub>=</b>	157.16	155.24	139.55	127.28	101.81	89.53
<b>S<sup>2</sup></b>	21.89	24.74	47.53	41.13	21.45	22.93
<b>X<sub>cv</sub>-X<sub>c</sub> =</b>		-1.93	-17.61	-29.88	-55.35	-67.63
<b>S<sub>p</sub>=</b>		4.83	5.89	5.61	4.65	4.73
<b>t<sub>p</sub>=</b>		-0.89	-6.69	-11.91	-26.62	-31.97

Nota: Fuente: Elaboración Propia

Tabla 56  
Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto a una edad de 28 días.

N° de	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Kg-f/cm <sup>2</sup> ); Edad 28 días					
Ensayo	100C+0CV	95C+5CV	90C+10CV	85C+15CV	80C+20CV	75C+25CV
1	218.82	229.73	224.06	219.9	198.42	187.93
2	217.81	231.49	229.66	226.43	198.21	182.57
3	209.15	235.35	229.56	221.57	197.83	182.19
4	207.17	228.2	224.52	226.22	202.25	182.52
5	213.82	230.87	225.34	210.3	196.43	179.49
6	212.66	232.36	225.81	209.52	200.26	178.48
7	218.48	233.14	226.52	215.15	197.06	178.28
8	218.16	226.62	227.22	214.18	198.89	179.75
9	208.88	233.29	226.56	222.26	199.84	176.06
10	223.9	234.65	222.99	219.28	196.78	182.29
<b>n<sub>i</sub></b>	10	10	10	10	10	10
<b>X<sub>i</sub>=</b>	214.89	231.57	226.22	218.48	198.60	180.96
<b>S<sup>2</sup></b>	29.28	7.73	4.79	36.26	3.21	10.87
<b>X<sub>cv</sub>-X<sub>c</sub> =</b>		16.68	11.34	3.60	-16.29	-33.93
<b>S<sub>p</sub>=</b>		4.30	4.13	5.72	4.03	4.48
<b>t<sub>p</sub>=</b>		8.68	6.14	1.41	-9.04	-16.93

Nota: Fuente: Elaboración Propia

#### Paso N° 04: Formular la regla de decisión

La regla de decisión se formula teniendo en cuenta que se trata de una prueba Unilateral (Una cola).

Para muestras unilaterales, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_{n+m-2} > t_{\alpha, n+m-2}, \text{ también: } t_p > t_{\text{tabla}}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 18 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{\alpha, n+m-2} = t_{0.05, 10+10-2} = t_{0.05, 18} = 1.73$$

Como se muestra en la siguiente figura, donde si el  $t_p$  superior a 1.73, se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el  $t_p$  es inferior a 1.73 no se rechaza la nula.



Figura 14. Gráfica del estadístico t para  $\alpha = 0.05$  y 18 grados de libertad.

Fuente: StatKey.com - Theoretical Distribution

### Paso N° 05: Toma de una decisión

La toma de una decisión (No se rechaza  $H_0$ , o se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ ) se hará respecto a los estadísticos de prueba calculados anteriormente para distintas edades del concreto.

#### Edad de 7 días

Los estadísticos de prueba que se han calculado para cada tipo de concreto los cuales son:

Tabla 57

Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $t_p$  para el concreto a 7 días de edad.

Descripción	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Kg-f/cm <sup>2</sup> ); Edad 7 días					
	100C+0CV	95C+5CV	90C+10CV	85C+15CV	80C+20CV	75C+25CV
$t_p=$		-16.43	-19.40	-19.98	-39.71	-40.31
$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_1 + n_2 - 2=$		18	18	18	18	18
$t_{\text{tabla}}=$		1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
Decisión		<b>No se Rechaza Ho</b>				

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

De la tabla anterior se observa que todos los estadísticos de prueba caen en la región donde “No se Rechaza la  $H_0$ ” de la curva de distribución de t student ( $t_p < t_{\text{tabla}}$ ).

Por lo tanto no se rechaza la hipótesis nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto con cenizas volantes es significativamente menor al de un concreto sin cenizas volantes ( $\mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$ ) a una edad de 7 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

## Edad de 14 días

Los estadísticos de prueba que se han calculado para cada tipo de concreto los cuales son:

Tabla 58

*Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $t_p$  para el concreto a 14 días de edad.*

Descripción	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Kg-f/cm <sup>2</sup> ); Edad 7 días					
	100C+0CV	95C+5CV	90C+10CV	85C+15CV	80C+20CV	75C+25CV
$t_p=$		-0.89	-6.69	-11.91	-26.62	-31.97
$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_1 + n_2 - 2=$		18	18	18	18	18
$t_{\text{tabla}}=$		1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
Decisión		<b>No se Rechaza H<sub>0</sub></b>				

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

De la tabla anterior se observa que todos los estadísticos de prueba caen en la región donde “No se Rechaza la  $H_0$ ” de la curva de t student ( $t_p < t_{\text{tabla}}$ ).

Por lo tanto no se rechaza la hipótesis Nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto con cenizas volantes es significativamente menor al de un concreto sin cenizas volantes ( $\mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$ ) a una edad de 14 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

## Edad de 28 días

Los estadísticos de prueba que se han calculado para cada tipo de concreto los cuales son:

Tabla 59

*Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $t_p$  para el concreto a 28 días de edad.*

Descripción	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Kg-f/cm <sup>2</sup> ); Edad 7 días					
	100C+0CV	95C+5CV	90C+10CV	85C+15CV	80C+20CV	75C+25CV
$t_p=$		8.68	6.14	1.41	-9.04	-16.93
$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_1 + n_2 - 2=$		18	18	18	18	18
$t_{\text{tabla}}=$		1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
Decisión		<b>Se Rechaza <math>H_0</math></b>	<b>Se Rechaza <math>H_0</math></b>	<b>No se Rechaza <math>H_0</math></b>	<b>No se Rechaza <math>H_0</math></b>	<b>No se Rechaza <math>H_0</math></b>

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

De la anterior tabla se puede obtener dos observaciones:

- Los estadísticos de prueba para el concreto de: 95C+5CV y 90C+10CV caen en la región donde “Se Rechaza la  $H_0$ ” de la curva de t student ( $t_p > t_{\text{tabla}}$ ), donde la  $H_0$  afirma que la resistencia a compresión del concreto con cenizas volantes es menor al de un concreto sin cenizas volantes ( $\mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$ ), y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo tanto la resistencia a compresión del concreto con cenizas volantes (95C+5CV y 90C+10CV) es mayor al de un concreto sin cenizas volantes (100C+0CV) a la edad de 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).
- Los estadísticos de prueba para el concreto de: 85C+15CV, 80C+20CV y 75C+25CV caen en la región donde “No se Rechaza la  $H_0$ ” de la curva de t student ( $t_p < t_{\text{tabla}}$ ). Por lo tanto no se rechaza la hipótesis Nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto con cenizas volantes (85C+15CV, 80C+20CV y 75C+25CV) es significativamente menor al de un concreto sin cenizas volantes (100C+0CV) a una edad de 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

### Decisión respecto a la hipótesis de investigación

En la tabla 60 muestra el resumen de todo lo analizado anteriormente, con respecto a la resistencia a la compresión del concreto para diferentes porcentajes de ceniza volante:

La hipótesis nula ( $H_0$ ) planteada es:

$H_0$ : La adición de un porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland no mejora la resistencia a compresión del concreto.

Tabla 60

Resumen de análisis de datos con el estadístico *t* de student.

Descripción		100c+0cv	95c+5cv	90c+10cv	85c+15cv	80c+20cv	75c+25cv
Concreto con 7 días de edad	$t_p=$		-16.43	-19.40	-19.98	-39.71	-40.31
	$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$n_1 + n_2 - 2=$		18	18	18	18	18
	$t_{\text{tabla}}=$		1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
	Decisión		<b>No se Rechaza <math>H_0</math></b>				
Concreto con 14 días de edad	$t_p=$		-0.89	-6.69	-11.91	-26.62	-31.97
	$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$n_1 + n_2 - 2=$		18	18	18	18	18
	$t_{\text{tabla}}=$		1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
	Decisión		<b>No se Rechaza <math>H_0</math></b>				
Concreto con 28 días de edad	$t_p=$		8.68	6.14	1.41	-9.04	-16.93
	$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$n_1 + n_2 - 2=$		18	18	18	18	18
	$t_{\text{tabla}}=$		1.73	1.73	1.73	1.73	1.73
	Decisión		<b>Se Rechaza <math>H_0</math></b>	<b>Se Rechaza <math>H_0</math></b>	<b>No se Rechaza <math>H_0</math></b>	<b>No se Rechaza <math>H_0</math></b>	<b>No se Rechaza <math>H_0</math></b>

Nota: Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 60 podemos decir que: Se acepta la hipótesis de investigación que afirma que la adición de un porcentaje de ceniza volante como sustituto parcial del cemento portland IP con agregados de la cantera surupana mejora la resistencia del concreto a compresión a la edad de los 28 días, dichos porcentajes de ceniza volante son el 5% y 10% del peso del cemento portland IP de diseño.

Los resultados de análisis de resistencia a la compresión del concreto analizado se pueden visualizar en el acápite anterior; lo cual refuerzan lo indicado en la presente sección.

#### **4.6.2. Prueba de hipótesis para la trabajabilidad del concreto fresco**

##### **Paso N° 01.- Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa**

Se va a probar la hipótesis sobre la diferencia de medias, Si la trabajabilidad del concreto fresco mejora con el sustituto de cenizas volantes por el cemento, en distintas proporciones del peso de cemento de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%, frente a un concreto patrón (sin cenizas volantes).

Las hipótesis serian de la siguiente manera:

$H_0$ : La adición de un porcentaje de cenizas volantes al concreto fresco como sustituto del cemento portland no mejora la trabajabilidad del concreto fresco.

$H_1$ : La adición de un porcentaje de cenizas volantes al concreto fresco como sustituto del cemento portland mejora la trabajabilidad del concreto fresco.

La hipótesis Nula:  $H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$

La hipótesis Alternativa:  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C}$

Donde

$\mu_{\bar{x}_{CV}}$  : Representa a la media aritmética de la trabajabilidad del concreto fresco con diferentes proporciones de ceniza volante.

$\mu_{\bar{x}_C}$  : Representa la media aritmética de la trabajabilidad del concreto fresco (sin ceniza volante).

### Paso N° 02: Nivel de significancia

Usaremos el mismo nivel de significancia para la resistencia a compresión del concreto, el cual es:  $\alpha = 0.05$  (5%)

### Paso N° 03: Identificar o seleccionar el estadístico de prueba

Se utilizará el t de student para la prueba de hipótesis, ya que tenemos variables independientes cuantitativas, el número de variables es menor a 30, suponemos la normalidad de variables, asimismo asumimos la homogeneidad de las varianzas entre los dos grupos.

#### Prueba de hipótesis con la Distribución T de Student

Como la hipótesis a probar es: La adición de un porcentaje de cenizas volantes como sustituto del cemento portland mejora la trabajabilidad del concreto fresco.

Entonces nuestra hipótesis es de la forma:

$$\mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C}$$

Por consiguiente se trata de un Test de una cola, con:

Hipótesis nula:  $H_0: \mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$

Hipótesis alternativa:  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CV}} > \mu_{\bar{x}_C}$

El estadístico de prueba para una distribución t-student con  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad es el siguiente:

$$t_p = \frac{\bar{x}_{CV} - \bar{x}_C}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}; S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

El estadístico de prueba para una distribución t-student con  $n_1 + n_2 - 2$  grados de libertad es el siguiente:

$$t_p = \frac{\bar{x}_{CV} - \bar{x}_C}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}; S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

$\bar{x}_{CV}$ : Medias de la medida de los asentamientos del concreto fresco con cenizas volantes en distintas proporciones del peso de cemento de 5%, 10%, 15%, 20% y 25%

$\bar{x}_C$ : Medias de la medida de los asentamientos del concreto fresco patrón (sin cenizas volantes)

El estadístico de prueba calculado para la trabajabilidad del concreto fresco, para mezclas de diferentes contenidos de ceniza volante se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 61  
Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto fresco.

N° de Ensayo	Asentamiento (cm)					
	100c+0cv	95c+5cv	90c+10cv	85c+15cv	80c+20cv	75c+25cv
1	9.8	9.6	9.5	8.7	7.8	5.6
2	9.7	8.4	8.7	8.4	7.5	4.9
3	9.1	8.8	8.3	8.1	7.4	5.3
4	9.3	8.9	8.6	8.5	7.9	5.1
5	9.2	9	8.5	8.6	7.1	5
$n_i$	5	5	5	5	5	5
$\bar{X}_i$ =	9.42	8.94	8.72	8.46	7.54	5.18
$S^2$	0.10	0.19	0.21	0.05	0.10	0.08
$\bar{X}_{cv}-\bar{X}_c$ =		-0.48	-0.70	-0.96	-1.88	-4.24
$S_p$ =		0.38	0.39	0.27	0.32	0.29
$t_p$ =		-2.00	-2.84	-5.62	-9.29	-23.12

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

#### Paso N° 04: Formular la regla de decisión

La regla de decisión se formula teniendo en cuenta que se trata de una prueba unilateral (Una cola).

Para muestras unilaterales, se rechaza la hipótesis nula cuando:

$$t_{n+m-2} > t_{\alpha, n+m-2}, \text{ También: } t_p > t_{\text{tabla}}$$

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 8 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{\alpha, n+m-2}, = t_{0.05, 8} = 1.86$$

Como se muestra en la siguiente figura, donde si el  $t_p$  superior a 1.86, se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el  $t_p$  es inferior a 1.86 no se rechaza la nula.

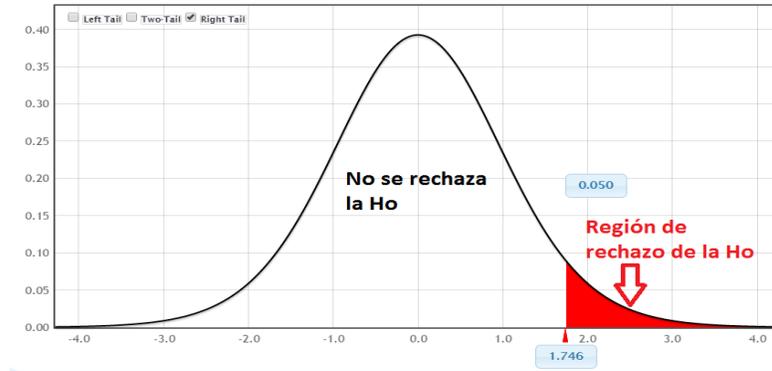


Figura 15. Gráfica del estadístico t para  $\alpha = 0.05$  y 8 grados de libertad.  
Fuente: StatKey.com - Theoretical Distribution

### Paso N° 05: Toma de una decisión

La toma de una decisión (No se rechaza  $H_0$ , o se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ ) se hará respecto a los estadísticos de prueba calculados anteriormente.

Los estadísticos de prueba para los distintos tipos de mezcla de concreto fresco son:

Tabla 62

Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $t_p$  para el concreto fresco.

Descripción	Concreto para diferentes porcentajes de ceniza volante					
	100c+0cv	95c+5cv	90c+10cv	85c+15cv	80c+20cv	75c+25cv
$t_p=$		-2.00	-2.84	-5.62	-9.29	-23.12
$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_1 + n_2 - 2=$		16	16	16	16	16
$t_{\text{tabla}}=$		1.86	1.86	1.86	1.86	1.86
Decisión		No se Rechaza $H_0$				

Nota: Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior se observa que todos los estadísticos de prueba caen en la región donde “No se Rechaza la  $H_0$ ” de la curva de t student ( $t_p < t_{\text{tabla}}$ ). Donde la hipótesis nula afirma que la trabajabilidad del concreto fresco con cenizas volantes es menor al de un concreto sin cenizas volantes ( $\mu_{\bar{x}_{CV}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$ ). Por lo tanto el concreto fresco con cenizas volantes no mejora la trabajabilidad con respecto al concreto sin cenizas volantes, esto a un nivel de significancia de 0.05 (5%).

#### **Decisión respecto a la hipótesis de investigación**

Donde la hipótesis nula ( $H_0$ ) planteada es:

$H_0$ : La adición de un porcentaje de cenizas volantes al concreto fresco como sustituto del cemento portland no mejora la trabajabilidad del concreto fresco.

De la tabla 62 podemos decir que “No se rechaza la  $H_0$ ”, entonces no se acepta la hipótesis de investigación que indica que la adición de un porcentaje de ceniza volante como sustituto del cemento portland con agregados de la cantera surupana mejora la trabajabilidad del concreto fresco en el proceso de mezclado.

Los resultados de análisis de la trabajabilidad del concreto fresco analizado se pueden visualizar en el acápite anterior; lo cual refuerzan lo indicado en la presente sección.

#### **4.7. Análisis de costo**

El análisis de costo de los seis tipos de mezcla de concreto (Concreto patrón sin ceniza volante y concreto con diferentes porcentajes de ceniza volante) se hará solo con los materiales que intervienen en la mezcla para  $1 \text{ m}^3$  de concreto, además se tuvo en cuenta la procedencia de la ceniza volante.

- 1.- El costo de transporte de la ceniza volante desde la central termoeléctrica Ilo21 hasta la ciudad de Juliaca se estima que será de: 6000 soles para 30 toneladas, entonces el costo por tonelada de transporte es:  $\frac{6000}{30} = 200 \text{ soles/Tn}$

2.- El costo de la ceniza volante en la Central Termoeléctrica es: 0.85 dólares por tonelada y considerando el tipo de cambio de: 1 dólar = 3.23 soles, el costo para una tonelada de ceniza más el transporte es:  $200 + 0.85 * 3.23 = 202.75$  soles/Tn

3.- Finalmente el costo por kilogramo de ceniza volante puesto en la ciudad de Juliaca es:

$$\frac{202.75}{1000} = 0.202 \text{ soles/kg}$$

En las siguientes tablas se muestra el costo de materiales para la elaboración de cada tipo de concreto con diferentes porcentajes de ceniza volante:

Tabla 63  
*Costo del concreto patrón.*

Material	Cantidad usada	Cantidad equivalente	Costo Unitario	Precio
Cemento 100%	366.07 Kg/m <sup>3</sup>	8.61 bls	S/. 22.50	S/. 193.80
Ceniza volante 0%	0.00 kg/m <sup>3</sup>	0.00 Kg	S/. 0.20	S/. 0.00
Agregado Fino	710.68 kg/m <sup>3</sup>	0.26 m <sup>3</sup>	S/. 54.00	S/. 14.04
Agregado Grueso	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	0.39 m <sup>3</sup>	S/. 58.30	S/. 22.74
Agua	225 Lt/m <sup>3</sup>	0.23 m <sup>3</sup>	S/. 5.10	S/. 1.17
<b>Costo total para 1 m<sup>3</sup> de concreto en soles</b>				<b>S/. 231.75</b>

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 64  
*Costo del concreto con 95% de Cemento + 5% de Ceniza volante.*

Material	Cantidad usada	Cantidad equivalente	Costo Unitario	Precio
Cemento 95%	347.77 Kg/m <sup>3</sup>	8.18 bls	S/. 22.50	S/. 184.11
Ceniza volante 5%	18.30 kg/m <sup>3</sup>	18.30 Kg	S/. 0.20	S/. 3.66
Agregado Fino	710.68 kg/m <sup>3</sup>	0.28 m <sup>3</sup>	S/. 54.00	S/. 15.12
Agregado Grueso	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	0.39 m <sup>3</sup>	S/. 58.30	S/. 22.74
Agua	225 Lt/m <sup>3</sup>	0.23 m <sup>3</sup>	S/. 5.10	S/. 1.17
<b>Costo total para 1 m<sup>3</sup> de concreto en soles</b>				<b>S/. 226.80</b>

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 65

*Costo del concreto con 90% de Cemento + 10% de Ceniza volante.*

<b>Material</b>	<b>Cantidad usada</b>	<b>Cantidad equivalente</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Precio</b>
Cemento 90%	329.46 Kg/m <sup>3</sup>	7.75 bls	S/. 22.50	S/. 174.42
Ceniza volante 10%	36.61 kg/m <sup>3</sup>	36.61 Kg	S/. 0.20	S/. 7.32
Agregado Fino	710.68 kg/m <sup>3</sup>	0.28 m <sup>3</sup>	S/. 54.00	S/. 15.12
Agregado Grueso	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	0.39 m <sup>3</sup>	S/. 58.30	S/. 22.74
Agua	225 Lt/m <sup>3</sup>	0.23 m <sup>3</sup>	S/. 5.10	S/. 1.17
<b>Costo total para 1 m<sup>3</sup> de concreto en soles</b>				<b>S/. 220.77</b>

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 66

*Costo del concreto con 85% de Cemento + 15% de Ceniza volante.*

<b>Material</b>	<b>Cantidad usada</b>	<b>Cantidad equivalente</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Precio</b>
Cemento 85%	311.16 Kg/m <sup>3</sup>	7.32 bls	S/. 22.50	S/. 164.73
Ceniza volante 15%	54.91 kg/m <sup>3</sup>	54.91 Kg	S/. 0.20	S/. 10.98
Agregado Fino	710.68 kg/m <sup>3</sup>	0.28 m <sup>3</sup>	S/. 54.00	S/. 15.12
Agregado Grueso	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	0.39 m <sup>3</sup>	S/. 58.30	S/. 22.74
Agua	225 Lt/m <sup>3</sup>	0.23 m <sup>3</sup>	S/. 5.10	S/. 1.17
<b>Costo total para 1 m<sup>3</sup> de concreto en soles</b>				<b>S/. 214.74</b>

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 67

*Costo del concreto con 80% de Cemento + 20% de Ceniza volante.*

<b>Material</b>	<b>Cantidad usada</b>	<b>Cantidad equivalente</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Precio</b>
Cemento 80%	292.86 Kg/m <sup>3</sup>	6.89 bls	S/. 22.50	S/. 155.04
Ceniza volante 20%	73.21 kg/m <sup>3</sup>	73.21 Kg	S/. 0.20	S/. 14.64
Agregado Fino	710.68 kg/m <sup>3</sup>	0.28 m <sup>3</sup>	S/. 54.00	S/. 15.12
Agregado Grueso	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	0.39 m <sup>3</sup>	S/. 58.30	S/. 22.74
Agua	225 Lt/m <sup>3</sup>	0.23 m <sup>3</sup>	S/. 5.10	S/. 1.17
<b>Costo total para 1 m<sup>3</sup> de concreto en soles</b>				<b>S/. 208.72</b>

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 68

*Costo del concreto con 75% de Cemento + 25% de Ceniza volante.*

<b>Material</b>	<b>Cantidad usada</b>	<b>Cantidad equivalente</b>	<b>Costo Unitario</b>	<b>Precio</b>
Cemento 75%	274.55 Kg/m <sup>3</sup>	6.46 bls	S/. 22.50	S/. 145.35
Ceniza volante 25%	91.52 kg/m <sup>3</sup>	91.52 Kg	S/. 0.20	S/. 18.30
Agregado Fino	710.68 kg/m <sup>3</sup>	0.28 m <sup>3</sup>	S/. 54.00	S/. 15.12
Agregado Grueso	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	0.39 m <sup>3</sup>	S/. 58.30	S/. 22.74
Agua	225 Lt/m <sup>3</sup>	0.23 m <sup>3</sup>	S/. 5.10	S/. 1.17
<b>Costo total para 1 m<sup>3</sup> de concreto en soles</b>				<b>S/. 202.68</b>

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla 69

*Resumen del costo del concreto (Sólo materiales) para diferentes dosificaciones.*

<b>Concreto con:</b>	<b>Precio</b>	<b>% Costo</b>
Cemento 100% + Ceniza volante 0%	S/. 231.75	100.00%
Cemento 95% + Ceniza volante 5%	S/. 226.80	97.86%
Cemento 90% + Ceniza volante 10%	S/. 220.77	95.26%
Cemento 85% + Ceniza volante 15%	S/. 214.74	92.66%
Cemento 80% + Ceniza volante 20%	S/. 208.72	90.06%
Cemento 75% + Ceniza volante 25%	S/. 202.68	87.46%

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Se puede observar que el costo del concreto sin cenizas volantes es superior al concreto que contiene diferentes porcentajes de cenizas volantes, además costo del concreto que tuvo mayor resistencia a la compresión respecto al concreto convencional, es menor en un 2.91%, esto para el concreto con 5% de cenizas volantes, y 5.82% menor del costo para el concreto con 10% de cenizas volantes.

## **Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones**

### **5.1. Conclusiones**

#### **5.1.1. Conclusión general**

Se ha logrado obtener un concreto con cenizas volantes de resistencia superior a un concreto sin ceniza volante a la edad de 28 días, para este concreto con ceniza volante los porcentajes de sustitución fueron de 5 y 10% del peso del cemento portland IP.

#### **5.1.2. Conclusiones específicas**

El trabajo de investigación desarrollado presentó limitaciones como la falta de un laboratorio especialista que contara con equipos para ver específicamente si la ceniza volante cumple con los requisitos físicos recomendados por la norma ASTM C 618, esto se debe a que es muy poca la utilización de la ceniza volante en la preparación del concreto en el Perú.

La inclusión de ceniza volante a las mezclas de concreto no mejoró la trabajabilidad del concreto fresco, por el contrario se obtuvieron menores asentamientos para las mezclas con ceniza volante, esto se debe a que se utilizó una misma cantidad de agua de diseño para todas las mezclas además el reemplazo de ceniza volante por cemento portland IP se hizo en peso, y al tener la ceniza volante una menor densidad que el cemento se tuvo un mayor volumen de cementantes.

Para el diseño de mezcla del concreto con ceniza volante se tomó referencias de investigaciones anteriores, las recomendaciones que indican utilizar una equivalencia diferente están propuestas por el ACI, además en nuestro medio existen muy pocas investigaciones sobre este tema, así que optamos por preparar mezclas de prueba, cual diseño es semejante para un concreto sin ceniza volante (concreto patrón y/o normal).

Para ver el efecto de la ceniza volante en el concreto elaborado en nuestra zona (ciudad de Juliaca - UPeU) las condiciones de curado fueron realizadas a una temperatura de aproximadamente 13°C. Cabe indicar que esta temperatura representa la temperatura del agua y del medio normal en nuestra zona.

Los materiales usados como los agregados, cemento y agua son convencionales, es decir se encuentran en la zona; más no la ceniza volante, la cual sólo está disponible dentro de las instalaciones de la central termoeléctrica Ilo21.

## **5.2. Recomendaciones**

Para sacar por toneladas la ceniza volante de la central termoeléctrica Ilo21, la atención y/o trámite se realiza en la ciudad de Lima o vía telefónica con la Empresa Enersur S A.

Se debe manipular la ceniza volante con mucho cuidado y usando equipos de protección para el individual adecuados, pues este es un producto que causa irritación en los ojos, la piel y por inhalación, es porque la ceniza volante contiene sílice cristalina.

Se debe tener cuidado en hacer los ensayos físicos de los agregados, ya que los resultados obtenidos influenciarán en la cantidad de materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

Los concretos elaborados con ceniza volante a edades tempranas deben maniobrase con mucho cuidado, ya que la ceniza volante inicialmente solo se comporta como agregado fino.

Con respecto a la aplicación del concreto con ceniza volante para alguna construcción de nuestra zona (Juliaca - UPeU), se recomienda sustituir sólo hasta un 10% de ceniza volante por cemento portland IP en peso, ya que se ha visto que el concreto con ceniza volante es superior a un concreto normal a este porcentaje de sustitución. Además debemos considerar que en nuestra zona no se ha visto construcciones con adiciones de ceniza volante al concreto, así que se recomienda realizar las pruebas respectivas al concreto según sea la construcción a realizar.

Para mejorar el asentamiento “*Slump*” del concreto con ceniza volante se debe considerar realizar investigaciones con aditivos plastificantes y super plastificantes que ayuden en las construcciones de concreto pre mezclado, ya que estas empresas utilizan equipos y maquinaria para bombear el concreto hasta edificaciones de gran altura.

## Referencias

- Abanto Castillo, F. (1994). *Tecnología del concreto*. Lima-Perú: San Marcos.
- Abre Sus Puertas El Nuevo One World Trade Center En Nueva York de Tony con el Pueblo:  
<http://www.tonyconelpueblo.net/2014/11/03/abre-sus-puertas-el-nuevo-one-world-trade-center-en-nueva-york/>
- ACAA. (2003). *Fly ash facts for highway engineers*. American Coal Ash Association.
- Achoy Bustamante, L. A. (2012). *Estadística Descriptiva y Probabilidad*. Obtenido de Universidad de Occidente, Culiacan-México:  
<https://matematicasudeo.files.wordpress.com/2012/08/estadistica-descriptiva1.pdf>
- Aguila P., G. (2014). *YURA S.A. - Class & Asociados S.A.*
- Calla Salcedo, R. (2013). *Resistencia del concreto utilizando aditivos superplastificante y microsilíce con agregados de la cantera Cutimbo. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional del Altiplano, Puno.*
- Cascón Sagrado, J. D. (2001). *Ingeniería de presas: Presas de fábrica*.  
<https://books.google.com.pe>
- Conocimiento - slickpalm.com. *¿Qué es la ceniza volante de hormigón?:*  
<https://blognisaba.wordpress.com/2010/04/21/como-citar-wikipedia-en-apa/>
- Cruz Ramirez, A. P. (2011). *Pruebas de Hipótesis para una muestra*.  
<http://www.monografias.com/trabajos30/prueba-de-hipotesis/prueba-de-hipotesis.shtml>
- Ecosmart concrete. (2009). *A concrete contribution to the Environment:*  
[http://ecosmartconcrete.com/?page\\_id=250](http://ecosmartconcrete.com/?page_id=250)
- Enersur. (2009). *Memoria Anual 08 Enersur S.A. Lima - Perú: Vértice consultores graficos s.a.c.*
- Enersur. (2015). *Memoria Anual 2014 Enersur S.A.*
- Fundación Americana de la Asociación de Carreteras y Transporte Constructores Desarrollo del Transporte. (2011). *The Economic Impacts of Prohibiting Coal Fly Ash Use in Transportation Infrastructure Construction*.
- Giovanbattista, P. A. *Incorporación de cenizas volantes en el hormigón elaborado. MATERMIX Cenizas para la construcción:* <http://www.matermixsrl.com.ar/assets/incorporacion-de-cenizas-volantes-en-el-he--alta2.pdf>
- Giraldo Bolívar, O. (1987). *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón. Medellín-Colombia.*

- Giraldo Bolivar, O. (2006). *Dosificación de Mezclas de Hormigón*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Ingeniería Civil: <http://www.unalmed.edu.co/hormigon/archivos/laboratorio/mezclas04b.pdf>
- Giraldo P, E. M. (2008). *El carbón: alternativa a la crisis energética en el Perú*. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, Volumen 11(N° 22).
- Gómez Gutiérrez, M. (2009). *Límites de consistencia de los agregados para mezclas de concreto*. Tesis, Universidad nacional autónoma de México, División de ingeniería civil y geomatica, México D.F.
- Harmsen, T. E. (1995). *Supervisión de Obras de Concreto*. Lima-Perú: ACI-Perú.
- Hernandez, R. (2006). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-Hiill/Interamericana editores.
- Huincho Salvatierra, E. (2011). *Concreto de alta Resistencia usando aditivo superplastificante, microsílíce y nanosílíce con cemento portland tipo I*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima - Perú.
- La construcción de un gigante: presa Hoover 1931-1935. (s.f.). Recuperado el 01 de 04 de 2015, de <http://www.construdata.com/BancoConocimiento/N/noticretopresahoover/noticretopresahoover.asp> Fly ash: un recurso que no puede ser desapercibido en la actualidad: [http://kyrkeiser.blogspot.com/2014\\_03\\_01\\_archive.html](http://kyrkeiser.blogspot.com/2014_03_01_archive.html)
- Luyo Quiroz, A. (2011). *proyecto: Visión futura del carbón Peruano*. Lima- Perú.
- Molina Bas, O. I., & Moragues Terrades, A. y. (2008). *Investigación titulada "Influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento portland en la durabilidad del hormigón: propiedades físicas, difusión del ión cloruro y del dióxido de carbono"*. Madrid.
- Munther Latif, A. H. (1993). *Desarrollo de las características mecánicas del hormigón fabricado con adiciones de cenizas volantes bajo varias condiciones de curado*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Valencia-España.
- Pasquel Carvajal, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú (Vol. Segunda edición)*. Lima-Perú.
- PCA, P. C. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto (Vol. Primera Edición)*.
- Quevedo Haro, E. C. (2013). *Granulometría de agregados (grueso y fino)*. Manual de tecnología de materiales, Universidad Nacional del Santa, E. AP, Ingeniería civil, Chimbote - Perú.

- Quiroz Bazán, R. D. (2005). *Evaluación Energética Y Económica de La Central Térmica A Carbón Ilo21. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Mecánico, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima-Perú.*
- Rada James, J. (s.f.). *¿Por qué se ponen cenizas en el concreto? How: [http://www.ehowenespanol.com/ponen-cenizas-concreto-como\\_88095/](http://www.ehowenespanol.com/ponen-cenizas-concreto-como_88095/)*
- Rivva Lopez, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto . Lima-Peru: ACI Capítulo Peruano.*
- Rivva López, E. (2007). *Diseño de Mezclas (Segunda Edición ed., Vol. Segunda Edición). Lima.*
- Rivva López, E. (2010). *Materiales para el Concreto (2da Edición ed.). Lima: ICG.*
- Salazar Rivera, C. M. (2009). *Estimación de la generación de cenizas de centrales térmicas a carbón y su reuso en la industria del cemento y hormigón. Proyecto para optar al título profesional de Ingeniero Ambiental, Universidad Andres Bello, Santiago.*
- Sánchez Muñoz, F. L. (2015). *Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad privada Antenor Orrego, Trujillo.*
- Suárez I., M. O. (2012). *Interaprendizaje de probabilidades y estadística inferencial con excel, winstats y graph (Vol. Primera Edición). Ibarra-Ecuador: Imprenta Offset M &V.*
- Tufino Santiago, D. R. (2009). *Variación de resistencias vs. edades y relación a/c con cemento pórtland tipo I (sol). Tesis para obtar el título ptofesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma, LIMA.*
- Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología. (2005). *Método de análisis de datos. Obtenido de <https://www.uco.es/servicios/informatica/windows/filemgr/download/ecolog/Metodos%20analisis%20datos.pdf>*
- Vásquez Paniagua, E. (2007). *Concreto de alto desempeño con elevado consumo de ceniza volante. Tesis para optar el grado de Maestro en Ingeniería Civil y construcción, UNAM-Mexico.*

## Anexos

### Anexo A: Agregados.

	<b>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES</b>	
---	---	---

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante “fly ash” como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>CANTERA:</b>	Maravillas / Surupana
<b>ASESOR :</b>	Ing. Moises Araca Chile	<b>FECHA:</b>	01/09/2017

<b>ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD</b> <b>NTP 400.016</b>
---

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO FINO			
Numero de tara	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de tara	27.72 gr	27.65 gr	31.09 gr
Peso de tara + muestra humeda	366.05 gr	321.74 gr	411.20 gr
Peso de tara + muestra seca	352.27 gr	308.41 gr	396.51 gr
Peso de agua	13.78 gr	13.33 gr	14.69 gr
Peso de muestra seca	324.55 gr	280.76 gr	365.42 gr
Contenido de humedad W%	4.25%	4.75%	4.02%
Contenido de humedad W% Promedio	4.34%		

CONTENIDO DE HUMEDAD AGREGADO GRUESO			
Numero de tara	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Peso de tara	31.09 gr	27.62 gr	29.81 gr
Peso de tara + muestra humeda	410.54 gr	407.32 gr	409.65 gr
Peso de tara + muestra seca	405.42 gr	402.03 gr	404.69 gr
Peso de agua	5.12 gr	5.29 gr	4.96 gr
Peso de muestra seca	374.33 gr	374.41 gr	374.88 gr
Contenido de humedad W%	1.37%	1.41%	1.32%
Contenido de humedad W% Promedio	1.37%		



<b>PROYECTO :</b>	<b>Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPEU Filial Juliaca.</b>		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>CANTERA:</b>	Maravillas
<b>ASESOR:</b>	Ing. Moises Araca Chile	<b>FECHA:</b>	11/09/2017

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**NTP 400.037 - ASTM C-33**

TAMICES ASTM	Abertura en m.m.	PESO RETENIDO (kg)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2 1/2"	63.500				
2"	50.600				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525				
1/4"	6.350				
N° 4	4.760	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.380	0.561	17.51	17.51	82.49
N° 16	1.180	0.675	21.06	38.57	61.43
N° 30	0.425	0.627	19.57	58.14	41.86
N° 50	0.250	0.563	17.58	75.72	24.28
N° 100	0.150	0.477	14.88	90.60	9.40
N° 200	0.074	0.238	7.44	98.05	1.95
Pasa N° 200		0.06	1.95	100.00	0.00
PESO TOTAL		3.203			

**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:**

Peso Inicial: 3229.20 gr.  
 Peso Lavado 3202.51 gr.  
 Peso Perdido 26.69 gr.  
 Peso Perdido 0.83%

**TAMAÑO MAXIMO:**

N° 4

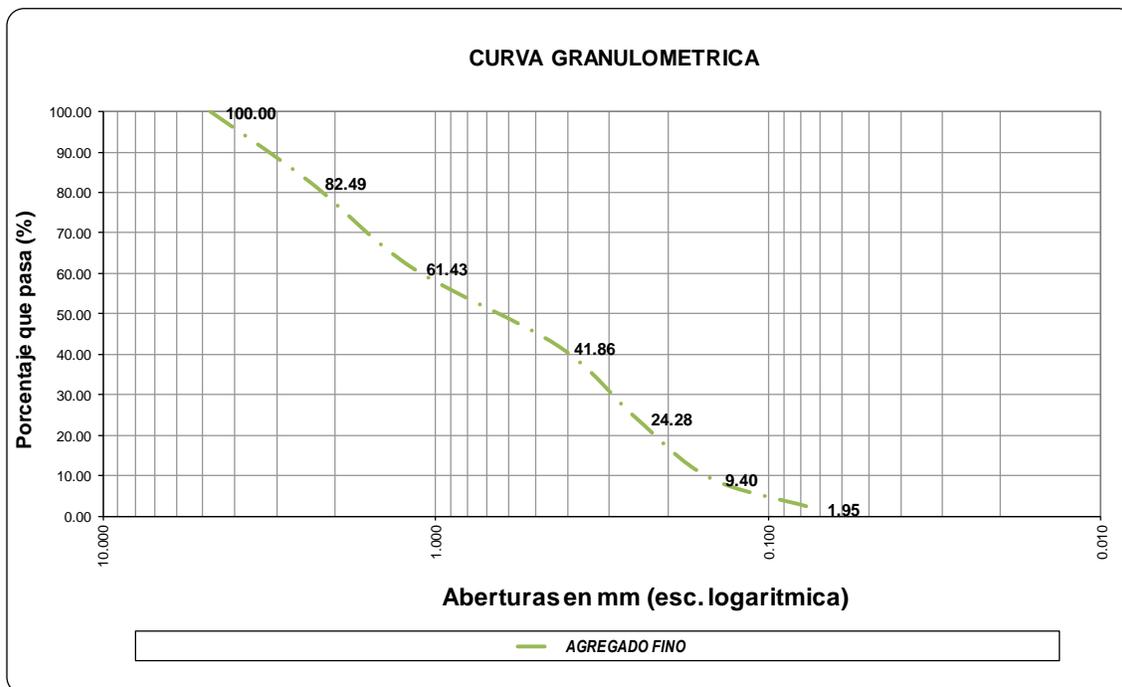
**TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:**

N° 8

**MODULO DE FINURA A.F.**

2.81

**CURVA GRANULOMETRICA**





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES**



<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>CANTERA:</b>	Surupana "Piedra Chancada"
<b>ASESOR:</b>	Ing. Moises Araca Chile	<b>FECHA:</b>	11/09/2017

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**  
**NTP 400.037 - ASTM N° 57**

TAMICES ASTM	Abertura en m.m.	PESO RETENIDO (kg)	RETENIDO PARCIAL (%)	RETENIDO ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
2 1/2"	63.500				
2"	50.600				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400	0.000	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.937	18.48	18.48	81.52
1/2"	12.700	1.658	32.71	51.20	48.80
3/8"	9.525	1.040	20.52	71.72	28.28
1/4"	6.350	1.041	20.54	92.26	7.74
N° 4	4.760	0.392	7.74	100.00	0.00
N° 8	2.380				
N° 16	1.180				
N° 30	0.425				
N° 50	0.250				
N° 100	0.150				
N° 200	0.074				
Pasa N° 200			0.00	0.00	100.00
PESO TOTAL		5.069			

**DESCRIPCION DE LA MUESTRA:**

Peso Inicial: 5092.49 gr.  
 Peso Lavado 5068.56 gr.  
 Peso Perdido 23.93 gr.  
 Peso Perdido 0.47%

**TAMAÑO MAXIMO:**

1"

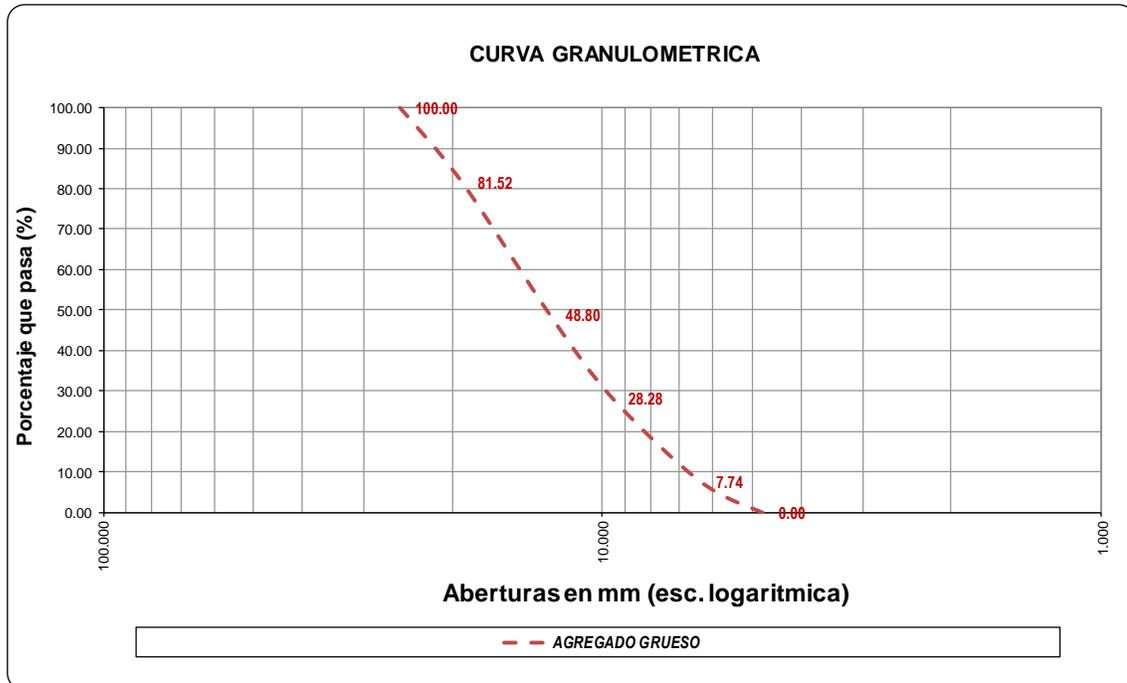
**TAMAÑO MAXIMO NOMINAL:**

3/4"

**MODULO DE FINURA A.G.**

6.41

**CURVA GRANULOMETRICA**





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES**



<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>CANTERA:</b>	Maravillas / Surupana
<b>ASESOR :</b>	Ing. Moises Araca Chile	<b>FECHA:</b>	12/09/2017

**ENSAYO DE PESO ESPECIFICO**

**NTP 400.021 - NTP 400.022**

<b>AGREGADO FINO</b>	
Peso de la muestra saturada superficialmente seca	450.00 gr
Peso de fiola	165.00 gr
Peso de la muestra saturada superficialmente seca + peso de fiola + peso de agua	929.00 gr
Peso de agua	314.00 gr
Peso de muestra seca	480.50 gr
Volumen de la fiola	500.00 cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa	2.58 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa saturada superficialmente seca	2.69 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.89 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	4.06%

<b>AGREGADO GRUESO</b>	
Peso de la muestra sss	1250.00 gr
Peso de muestra sss+ canastilla + agua (sumergido)	798.00 gr
Peso de muestra saturada superficialmente seca - peso de muestra bajo agua	452.00 gr
Peso muestra seca	1208.30 gr
Volumen de la masa	410.30 cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa	2.67 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico de masa sss	2.77 gr/cm <sup>3</sup>
Peso específico aparente	2.94 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	3.45%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES**



<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>CANTERA:</b>	Maravillas / Surupana
<b>ASESOR :</b>	Ing. Moises Araca Chile	<b>FECHA:</b>	14/09/2017

**ENSAYO DE PESO UNITARIO**  
**NTP 400.017**

<b>FINO SUELTO</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso del molde	7.07 gr	7.07 gr	7.07 gr
Volumen del molde	0.0053 m3	0.0053 m3	0.0053 m3
Peso del molde + muestra	16.21 gr	16.11 gr	16.09 gr
Peso de la muestra	9.14 gr	9.04 gr	9.02 gr
Peso unitario suelto	1723 Kg/m3	1704 Kg/m3	1701 Kg/m3
<b>Peso unitario promedio</b>	1710 Kg/m3		

Diametro	15.00 cm
Altura	30.00 cm
Volumen	5301.44 cm <sup>3</sup>
Volumen	0.0053 m <sup>3</sup>

<b>FINO COMPACTADO</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso del molde	7.07 gr	7.07 gr	7.07 gr
Volumen del molde	0.0053 m3	0.0053 m3	0.0053 m3
Peso del molde + muestra	16.71 gr	16.67 gr	16.75 gr
Peso de la muestra	9.64 gr	9.60 gr	9.68 gr
Peso unitario compactado	1818 Kg/m3	1811 Kg/m3	1825 Kg/m3
<b>Peso unitario promedio</b>	1818 Kg/m3		

<b>GRUESO SUELTO</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso del molde	7.07 gr	7.07 gr	7.07 gr
Volumen del molde	0.0053 m3	0.0053 m3	0.0053 m3
Peso del molde + muestra	15.47 gr	15.41 gr	15.34 gr
Peso de la muestra	8.40 gr	8.34 gr	8.27 gr
Peso unitario suelto	1584 Kg/m3	1573 Kg/m3	1559 Kg/m3
<b>Peso unitario promedio</b>	1572 Kg/m3		

<b>GRUESO COMPACTADO</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 3</b>
Peso del molde	7.07 gr	7.07 gr	7.07 gr
Volumen del molde	0.0053 m3	0.0053 m3	0.0053 m3
Peso del molde + muestra	15.91 gr	15.79 gr	16.08 gr
Peso de la muestra	8.84 gr	8.72 gr	9.01 gr
Peso unitario compactado	1667 Kg/m3	1644 Kg/m3	1700 Kg/m3
<b>Peso unitario promedio</b>	1670 Kg/m3		

## Anexo B: Diseño de Mezcla por el método ACI 211.1.

### Anexo B-1: Método por Volumen Absoluto Equivalente.

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	100.00%
Ceniza Volante		2.5		0.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm <sup>3</sup>	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m <sup>3</sup>	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m <sup>3</sup>	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"		
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "		
3	Aire Incorporado	No	Si	
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47	
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs	
6	Total de aire	2.00%		
7	Volumen de A.G.	0.619		

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 0.00\% \quad F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)}$$

$$F_v = 0.00\% \quad F_v = \text{Porcentaje en Volumen de las ceniza, en el volumen total de material cementicio.}$$

$$= \frac{a}{c + cv} = 0.56$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.56}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria:} \quad 8.6 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{aligned} \text{Peso del cemento:} & \quad C = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 100.00\% \quad = \quad 366.07 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & \quad CV = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 0.00\% \quad = \quad 0.00 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento} = \frac{366.07 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.1224 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{0.00 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0000 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7363 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7363 \text{ m}^3 = 0.2640 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2640 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 681.12 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	366.07 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	0.00 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 ltrs/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	681.12 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034.35 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso total de la mezcla</b>	<b>2286.54 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 681.12 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 710.68 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= \underline{1.80\%} \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 681.12 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	366 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	0.00 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	711 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{366 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 1 \\ \text{Ceniza Volante} &= \frac{0.00 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 0 \\ \text{Agua efectiva} &= \frac{225 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 0.61 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{711 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 1.94 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1049 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 2.86 \end{aligned}$$

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0	x	42.5	=	0.0 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.61	x	42.5	=	25.9 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	1.94	x	42.5	=	82.5 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	2.86	x	42.5	=	121.6 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.12 m <sup>3</sup>	366.07 kg/m <sup>3</sup>		366.07 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.00 m <sup>3</sup>	0.00 kg/m <sup>3</sup>		0.00 kg/m <sup>3</sup>	<b>0</b>
Agua	0.21 m <sup>3</sup>	205 Lt/m <sup>3</sup>	-1.80%	225 Lt/m <sup>3</sup>	<b>25.93</b>
Agregado Fino	0.26 m <sup>3</sup>	681.12 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	710.68 kg/m <sup>3</sup>	<b>1.94</b>
Agregado Grueso	0.39 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.86</b>
Aire	0.02 m <sup>3</sup>				
				2349.88 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.61</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	95.00%
Ceniza Volante		2.5		5.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"	
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "	
3	Aire Incorporado	No	Si
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs
6	Total de aire	2.00%	
7	Volumen de A.G.	0.619	

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 5.00\%$$

$$F_v = 5.92\%$$

$$F_w = \frac{a}{c + cv}$$

Fw = Contenido de ceniza (% en peso del cemento)  
Fv = Porcentaje en Volumen de las ceniza, en el volumen total de material cementicio  
= 0.57

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.57}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 359.65 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria:} \quad 8.5 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{aligned} \text{Peso del cemento:} & \quad C = 359.65 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 95.00\% \quad = \quad 341.67 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & \quad CV = 359.65 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 5.00\% \quad = \quad 17.98 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento} = \frac{341.67 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.1143 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{17.98 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0072 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7353 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7353 \text{ m}^3 = 0.265 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2650 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 683.70 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	341.67 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	17.98 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 ltrs/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	683.70 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034.35 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso total de la mezcla</b>	<b>2282.70 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 683.70 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 713.37 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= 1.80\% \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 683.70 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	342 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	18 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	713 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

Cemento	=	$\frac{342 \text{ kg/m}^3}{342 \text{ kg/m}^3}$	=	1
Ceniza Volante	=	$\frac{18 \text{ kg/m}^3}{342 \text{ kg/m}^3}$	=	0.05
Agua efectiva	=	$\frac{225 \text{ kg/m}^3}{342 \text{ kg/m}^3}$	=	0.66
Agregado Fino	=	$\frac{713 \text{ kg/m}^3}{342 \text{ kg/m}^3}$	=	2.09
Agregado Grueso	=	$\frac{1049 \text{ kg/m}^3}{342 \text{ kg/m}^3}$	=	3.07

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.05	x	42.5	=	2.1 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.66	x	42.5	=	28.1 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.09	x	42.5	=	88.8 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.07	x	42.5	=	130.5 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.11 m <sup>3</sup>	341.67 kg/m <sup>3</sup>		341.67 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Ceniza Volante	0.01 m <sup>3</sup>	17.98 kg/m <sup>3</sup>		17.98 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.05</b>
Agua	0.21 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.60 kg/m <sup>3</sup>	<b>28.05</b>
Agregado Fino	0.27 m <sup>3</sup>	683.70 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	713.37 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.09</b>
Agregado Grueso	0.39 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.07</b>
Aire	0.02 m <sup>3</sup>				
				2346 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.62</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	90.00%
Ceniza Volante		2.5		10.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"	
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "	
3	Aire Incorporado	No	Si
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs
6	Total de aire	2.00%	
7	Volumen de A.G.	0.619	

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 10.00\%$$

$$F_v = 11.73\%$$

$$F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)}$$

$$F_v = \text{Porcentaje en Volumen de las ceniza, en el volumen total de material cementicio}$$

$$\frac{a}{c + cv} = 0.57$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.57}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 359.65 \text{ kg/m}^3 \text{ n bolsas seria: } 8.5 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{aligned} \text{Peso del cemento: } C &= 359.65 \text{ kg/m}^3 \times 90.00\% = 323.68 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante: } CV &= 359.65 \text{ kg/m}^3 \times 10.00\% = 35.96 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento} = \frac{323.68 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.1083 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{35.96 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0144 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7365 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7365 \text{ m}^3 = 0.264 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2640 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 681.12 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	324 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	36 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 kg/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	681 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso total de la mezcla</b>	<b>2280.1 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 681.12 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 710.68 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= 1.80\% \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 681.12 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - (-20 \text{ Lt/m}^3) = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	324 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	36 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	711 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{324 \text{ kg/m}^3}{324 \text{ kg/m}^3} = 1 \\ \text{Ceniza Volante} &= \frac{36 \text{ kg/m}^3}{324 \text{ kg/m}^3} = 0.11 \\ \text{Agua efectiva} &= \frac{225 \text{ kg/m}^3}{324 \text{ kg/m}^3} = 0.69 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{711 \text{ kg/m}^3}{324 \text{ kg/m}^3} = 2.2 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1049 \text{ kg/m}^3}{324 \text{ kg/m}^3} = 3.24 \end{aligned}$$

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.11	x	42.5	=	4.7 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.69	x	42.5	=	29.3 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.2	x	42.5	=	93.5 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.24	x	42.5	=	137.7 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.1083 m <sup>3</sup>	323.68 kg/m <sup>3</sup>		323.68 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.0144 m <sup>3</sup>	35.96 kg/m <sup>3</sup>		35.96 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.11</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.61 kg/m <sup>3</sup>	<b>29.33</b>
Agregado Fino	0.2640 m <sup>3</sup>	681.12 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	710.68 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.2</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.24</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2343 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.62</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	85.00%
Ceniza Volante		2.5		15.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"	
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "	
3	Aire Incorporado	No	Si
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs
6	Total de aire	2.00%	
7	Volumen de A.G.	0.619	

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 15.00\%$$

$$F_v = 17.43\%$$

$$a = \frac{F_w}{c + cv} = 0.58$$

a

c + cv

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.58}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 353.45 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria:} \quad 8.3 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{aligned} \text{Peso del cemento:} & \quad C = 353.45 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 85.00\% \quad = \quad 300.43 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & \quad CV = 353.45 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 15.00\% \quad = \quad 53.02 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento} = \frac{300.43 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.1005 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{53.02 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0212 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7355 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7355 \text{ m}^3 = 0.264 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2640 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 681.12 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	300 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	53 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 kg/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	681 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso total de la mezcla</b>	<b>2273.9 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 681.12 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 710.68 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= \underline{1.80\%} \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 681.12 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	300 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	53 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	711 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{300 \text{ kg/m}^3}{300 \text{ kg/m}^3} = 1 \\ \text{Ceniza Volante} &= \frac{53 \text{ kg/m}^3}{300 \text{ kg/m}^3} = 0.18 \\ \text{Agua efectiva} &= \frac{225 \text{ kg/m}^3}{300 \text{ kg/m}^3} = 0.75 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{711 \text{ kg/m}^3}{300 \text{ kg/m}^3} = 2.37 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1049 \text{ kg/m}^3}{300 \text{ kg/m}^3} = 3.49 \end{aligned}$$

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.18	x	42.5	=	7.7 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.75	x	42.5	=	31.9 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.37	x	42.5	=	100.7 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.49	x	42.5	=	148.3 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.1005 m <sup>3</sup>	300.43 kg/m <sup>3</sup>		300.43 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Ceniza Volante	0.0212 m <sup>3</sup>	53.02 kg/m <sup>3</sup>		53.02 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.18</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.61 kg/m <sup>3</sup>	<b>31.88</b>
Agregado Fino	0.2640 m <sup>3</sup>	681.12 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	710.68 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.37</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.49</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2337 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.64</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	80.00%
Ceniza Volante		2.5		20.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"	
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "	
3	Aire Incorporado	No	Si
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs
6	Total de aire	2.00%	
7	Volumen de A.G.	0.619	

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 20.00\% \quad F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)}$$

$$F_v = 23.02\% \quad F_v = \text{Porcentaje en Volumen de las ceniza, en el volumen total de material cementicio}$$

$$= \frac{a}{c + cv} = 0.58$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.58}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 353.45 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria: } 8.3 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{aligned} \text{Peso del cemento:} & \quad C = 353.45 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 80.00\% \quad = \quad 282.76 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & \quad CV = 353.45 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 20.00\% \quad = \quad 70.69 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento} = \frac{282.76 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.0946 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{70.69 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0283 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7367 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7367 \text{ m}^3 = 0.263 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2630 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 678.54 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	283 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	71 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 kg/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	679 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso total de la mezcla</b>	<b>2271.3 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 678.54 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 707.99 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= \underline{1.80\%} \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 678.54 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	283 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	71 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	708 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{283 \text{ kg/m}^3}{283 \text{ kg/m}^3} = 1 \\ \text{Ceniza Volante} &= \frac{71 \text{ kg/m}^3}{283 \text{ kg/m}^3} = 0.25 \\ \text{Agua efectiva} &= \frac{225 \text{ kg/m}^3}{283 \text{ kg/m}^3} = 0.79 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{708 \text{ kg/m}^3}{283 \text{ kg/m}^3} = 2.5 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1049 \text{ kg/m}^3}{283 \text{ kg/m}^3} = 3.71 \end{aligned}$$

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.25	x	42.5	=	10.6 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.79	x	42.5	=	33.6 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.5	x	42.5	=	106.3 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.71	x	42.5	=	157.7 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.0946 m <sup>3</sup>	282.76 kg/m <sup>3</sup>		282.76 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.0283 m <sup>3</sup>	70.69 kg/m <sup>3</sup>		70.69 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.25</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.61 kg/m <sup>3</sup>	<b>33.58</b>
Agregado Fino	0.2630 m <sup>3</sup>	678.54 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	707.99 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.5</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.71</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2335 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.64</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	75.00%
Ceniza Volante		2.5		25.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	Nº 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"	
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "	
3	Aire Incorporado	No	Si
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs
6	Total de aire	2.00%	
7	Volumen de A.G.	0.619	

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 25.00\%$$

$$F_v = 28.50\%$$

$$F_w = \frac{a}{c + cv}$$

$F_w =$  Contenido de ceniza (% en peso del cemento)  
 $F_v =$  Porcentaje en Volumen de las ceniza, en el volumen total de material cementicio  
 $= 0.59$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.59}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 347.46 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria:} \quad 8.2 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{aligned} \text{Peso del cemento:} & \quad C = 347.46 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 75.00\% \quad = \quad 260.59 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & \quad CV = 347.46 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 25.00\% \quad = \quad 86.86 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento} = \frac{260.59 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.0872 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{86.86 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0347 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7358 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7358 \text{ m}^3 = 0.264 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2640 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 681.12 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	261 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	87 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 kg/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	681 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso total de la mezcla</b>	<b>2267.9 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 681.12 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 710.68 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= 1.80\% \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 681.12 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	261 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	87 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	711 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{261 \text{ kg/m}^3}{261 \text{ kg/m}^3} = 1 \\ \text{Ceniza Volante} &= \frac{87 \text{ kg/m}^3}{261 \text{ kg/m}^3} = 0.33 \\ \text{Agua efectiva} &= \frac{225 \text{ kg/m}^3}{261 \text{ kg/m}^3} = 0.86 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{711 \text{ kg/m}^3}{261 \text{ kg/m}^3} = 2.73 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1049 \text{ kg/m}^3}{261 \text{ kg/m}^3} = 4.02 \end{aligned}$$

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.33	x	42.5	=	14.0 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.86	x	42.5	=	36.6 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.73	x	42.5	=	116.0 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	4.02	x	42.5	=	170.9 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.0872 m <sup>3</sup>	260.59 kg/m <sup>3</sup>		260.59 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.0347 m <sup>3</sup>	86.86 kg/m <sup>3</sup>		86.86 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.33</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.61 kg/m <sup>3</sup>	<b>36.55</b>
Agregado Fino	0.2640 m <sup>3</sup>	681.12 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	710.68 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.73</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>4.02</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2331 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.65</b>
---------------------------------------	-------------

## Anexo B-2: Método por Volumen Absoluto Equivalente.

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	100.00%
Ceniza Volante		2.5		0.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Máximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Específico	gr/cm <sup>3</sup>	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m <sup>3</sup>	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m <sup>3</sup>	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3" - 4"		
2	Tamaño Max. Nominal	3/4"		
3	Aire Incorporado	No	Si	
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47	
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs	
6	Total de aire	2.00%		
7	Volumen de A.G.	0.619		

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 0.00\% \quad \frac{a}{c + cv} = F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)} = 0.56$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.56} = \begin{matrix} 0.56 \\ 0.77 \\ 0.665 \end{matrix}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria: } 8.6 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{aligned} \text{Peso del cemento:} & \quad C = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 100.00\% \quad = \quad 366.07 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & \quad CV = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 0.00\% \quad = \quad 0.00 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento} = \frac{366.07 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.1224 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{0.00 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0000 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7363 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7363 \text{ m}^3 = 0.2640 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2640 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 681.12 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	366.07 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	0.00 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 ltrs/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	681.12 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034.35 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la mezcla</b>	<b>2286.54 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 681.12 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 710.68 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= \underline{1.80\%} \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 681.12 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	366 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	0.00 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	711 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{366 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 1 \\ \text{Ceniza Volante} &= \frac{0.00 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 0 \\ \text{Agua efectiva} &= \frac{225 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 0.61 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{711 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 1.94 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1049 \text{ kg/m}^3}{366 \text{ kg/m}^3} = 2.86 \end{aligned}$$

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0	x	42.5	=	0.0 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.61	x	42.5	=	25.9 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	1.94	x	42.5	=	82.5 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	2.86	x	42.5	=	121.6 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.1224 m <sup>3</sup>	366.07 kg/m <sup>3</sup>		366.07 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.0000 m <sup>3</sup>	0.00 kg/m <sup>3</sup>		0.00 kg/m <sup>3</sup>	<b>0</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.61 kg/m <sup>3</sup>	<b>25.93</b>
Agregado Fino	0.2640 m <sup>3</sup>	681.12 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	710.68 kg/m <sup>3</sup>	<b>1.94</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.86</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2350 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.61</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	95.00%
Ceniza Volante		2.5		5.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	Nº 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"		
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "		
3	Aire Incorporado	No	Si	
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47	
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs	
6	Total de aire	2.00%		
7	Volumen de A.G.	0.619		

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 5.00\% \quad \frac{a}{c + cv} \quad F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)} = 0.56$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{0.56}{0.56} \quad \begin{matrix} 0.56 \\ 0.77 \\ 0.665 \end{matrix}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria:} \quad 8.6 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \quad \times \quad 1671 \quad = \quad 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{matrix} \text{Peso del cemento:} & C = & 366.07 \text{ kg/m}^3 & \times & 95.00\% & = & 347.77 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & CV = & 366.07 \text{ kg/m}^3 & \times & 5.00\% & = & 18.30 \text{ kg/m}^3 \end{matrix}$$

$$\text{Cemento} = \frac{347.77 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.1163 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{18.30 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0073 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7375 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7375 \text{ m}^3 = 0.2630 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2630 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 678.54 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	347.77 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	18.30 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 ltrs/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	678.54 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034.35 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la mezcla</b>	<b>2283.96 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 678.54 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 707.99 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= \underline{1.80\%} \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 678.54 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	348 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	18 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	708 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

Cemento	=	$\frac{348 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	1
Ceniza Volante	=	$\frac{18 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	0.05
Agua efectiva	=	$\frac{225 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	0.65
Agregado Fino	=	$\frac{708 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	2.04
Agregado Grueso	=	$\frac{1049 \text{ kg/m}^3}{348 \text{ kg/m}^3}$	=	3.01

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.05	x	42.5	=	2.1 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.65	x	42.5	=	27.6 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.04	x	42.5	=	86.7 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.01	x	42.5	=	127.9 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.1163 m <sup>3</sup>	347.77 kg/m <sup>3</sup>		347.77 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.0073 m <sup>3</sup>	18.30 kg/m <sup>3</sup>		18.30 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.05</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.61 kg/m <sup>3</sup>	<b>27.63</b>
Agregado Fino	0.2630 m <sup>3</sup>	678.54 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	707.99 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.04</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.01</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2347 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.61</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	90.00%
Ceniza Volante		2.5		10.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"		
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "		
3	Aire Incorporado	No	Si	
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47	
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs	
6	Total de aire	2.00%		
7	Volumen de A.G.	0.619		

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 10.00\% \quad \frac{a}{c + cv} \quad F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)}$$

$$= 0.56$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.56}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria:} \quad 8.6 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \quad \times \quad 1671 \quad = \quad 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{aligned} \text{Peso del cemento:} & \quad C = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 90.00\% \quad = \quad 329.46 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & \quad CV = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 10.00\% \quad = \quad 36.61 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Cemento} = \frac{329.46 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.1102 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{36.61 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0146 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7387 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7387 \text{ m}^3 = 0.2610 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2610 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 673.38 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	329.46 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	36.61 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 ltrs/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	673.38 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034.35 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la mezcla</b>	<b>2278.80 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 673.38 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 702.60 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= 1.80\% \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 673.38 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - (-20 \text{ Lt/m}^3) = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	329 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	37 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	703 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

Cemento	=	$\frac{329 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	1
Ceniza Volante	=	$\frac{36.61 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	0.11
Agua efectiva	=	$\frac{225 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	0.68
Agregado Fino	=	$\frac{703 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	2.13
Agregado Grueso	=	$\frac{1049 \text{ kg/m}^3}{329 \text{ kg/m}^3}$	=	3.18

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.11	x	42.5	=	4.7 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.68	x	42.5	=	28.9 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.13	x	42.5	=	90.5 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.18	x	42.5	=	135.2 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.1102 m <sup>3</sup>	329.46 kg/m <sup>3</sup>		329.46 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.0146 m <sup>3</sup>	36.61 kg/m <sup>3</sup>		36.61 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.11</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.63 kg/m <sup>3</sup>	<b>28.90</b>
Agregado Fino	0.2610 m <sup>3</sup>	673.38 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	702.60 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.13</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.18</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2342 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.61</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	85.00%
Ceniza Volante		2.5		15.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"		
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "		
3	Aire Incorporado	No	Si	
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47	
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs	
6	Total de aire	2.00%		
7	Volumen de A.G.	0.619		

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 15.00\% \quad \frac{a}{c + cv} \quad F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)} = 0.56$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.56} \quad \begin{matrix} 0.56 \\ 0.77 \\ 0.665 \end{matrix}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria:} \quad 8.6 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \quad \times \quad 1671 \quad = \quad 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{matrix} \text{Peso del cemento:} & C = & 366.07 \text{ kg/m}^3 & \times & 85.00\% & = & 311.16 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & CV = & 366.07 \text{ kg/m}^3 & \times & 15.00\% & = & 54.91 \text{ kg/m}^3 \end{matrix}$$

$$\text{Cemento} = \frac{311.16 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.1041 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{54.91 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0220 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7399 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7399 \text{ m}^3 = 0.2600 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2600 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 670.80 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	311.16 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	54.91 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 ltrs/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	670.80 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034.35 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la mezcla</b>	<b>2276.22 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 670.80 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 699.91 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= \underline{1.80\%} \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 670.80 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	311 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	55 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	700 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

Cemento	=	$\frac{311 \text{ kg/m}^3}{311 \text{ kg/m}^3}$	=	1
Ceniza Volante	=	$\frac{55 \text{ kg/m}^3}{311 \text{ kg/m}^3}$	=	0.18
Agua efectiva	=	$\frac{225 \text{ kg/m}^3}{311 \text{ kg/m}^3}$	=	0.72
Agregado Fino	=	$\frac{700 \text{ kg/m}^3}{311 \text{ kg/m}^3}$	=	2.25
Agregado Grueso	=	$\frac{1049 \text{ kg/m}^3}{311 \text{ kg/m}^3}$	=	3.37

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.18	x	42.5	=	7.7 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.72	x	42.5	=	30.6 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.25	x	42.5	=	95.6 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.37	x	42.5	=	143.2 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.1041 m <sup>3</sup>	311.16 kg/m <sup>3</sup>		311.16 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Ceniza Volante	0.0220 m <sup>3</sup>	54.91 kg/m <sup>3</sup>		54.91 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.18</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.64 kg/m <sup>3</sup>	<b>30.60</b>
Agregado Fino	0.2600 m <sup>3</sup>	670.80 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	699.91 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.25</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.37</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2339 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.61</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	80.00%
Ceniza Volante		2.5		20.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Máximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Específico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"	
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "	
3	Aire Incorporado	No	Si
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs
6	Total de aire	2.00%	
7	Volumen de A.G.	0.619	

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = 20.00\% \quad \frac{a}{c + cv} \quad F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)} = 0.56$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{205}{0.56} \quad \begin{matrix} 0.56 \\ 0.77 \\ 0.665 \end{matrix}$$

$$\text{Fact. Cemento} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria: } 8.6 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\begin{matrix} \text{Peso del cemento:} & C = & 366.07 \text{ kg/m}^3 & \times & 80.00\% & = & 292.86 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Peso de ceniza volante:} & CV = & 366.07 \text{ kg/m}^3 & \times & 20.00\% & = & 73.21 \text{ kg/m}^3 \end{matrix}$$

$$\text{Cemento} = \frac{292.86 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.0979 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{73.21 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0293 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7411 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7411 \text{ m}^3 = 0.2590 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2590 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 668.22 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	292.86 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	73.21 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 ltrs/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	668.22 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034.35 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la mezcla</b>	<b>2273.64 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 668.22 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 697.22 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= \underline{1.80\%} \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 668.22 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	293 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	73 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	697 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{293 \text{ kg/m}^3}{293 \text{ kg/m}^3} = 1 \\ \text{Ceniza Volante} &= \frac{73 \text{ kg/m}^3}{293 \text{ kg/m}^3} = 0.25 \\ \text{Agua efectiva} &= \frac{225 \text{ kg/m}^3}{293 \text{ kg/m}^3} = 0.77 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{697 \text{ kg/m}^3}{293 \text{ kg/m}^3} = 2.38 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1049 \text{ kg/m}^3}{293 \text{ kg/m}^3} = 3.58 \end{aligned}$$

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.25	x	42.5	=	10.6 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.77	x	42.5	=	32.7 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.38	x	42.5	=	101.2 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.58	x	42.5	=	152.2 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.0979 m <sup>3</sup>	292.86 kg/m <sup>3</sup>		292.86 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.0293 m <sup>3</sup>	73.21 kg/m <sup>3</sup>		73.21 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.25</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.64 kg/m <sup>3</sup>	<b>32.73</b>
Agregado Fino	0.2590 m <sup>3</sup>	668.22 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	697.22 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.38</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.58</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2336 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.61</b>
---------------------------------------	-------------

DESCRIPCIÓN	MARCA	CEMENTO Y CENIZA VOLANTE		
		P.E.	PESO	% CONT.
Cemento	RUMI	2.99	42.5	75.00%
Ceniza Volante		2.5		25.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS			
	Unidad	Fino	Grueso	
Tamaño Maximo Nominal	Pulg	N° 4	3/4"	
Peso Especifico	gr/cm3	2.58	2.66	
Peso Unitario Suelto	kg/m3	1710	1572	
Peso Unitario Compactado	kg/m3	1818	1671	
Contenido de Humedad	%	4.34	1.37	
Absorción	%	4.06	3.45	
Modulo de Fineza		2.81	6.41	

a) Resistencia Requerida Promedio

$$f_c = 210 \text{ Kg/m}^3$$

$$f_{cr} = 294 \text{ Kg/m}^3$$

b) Valores de Diseño

1	Asentamiento	3 "- 4"	
2	Tamaño Max. Nominal	3/4 "	
3	Aire Incorporado	No	Si
4	Relación Agua Cemento a/c	0.56	0.47
5	Agua	205 ltrs	205 ltrs
6	Total de aire	2.00%	
7	Volumen de A.G.	0.619	

b.1) Nueva Relación a/(c+cv)

$$F_w = \frac{a}{c + cv} = 25.00\%$$

$$F_w = \text{Contenido de ceniza (\% en peso del cemento)} = 0.56$$

c) Análisis de diseño

1. Factor cemento

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{0.56}{0.56} = 0.56$$

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{0.77}{0.665} = 0.77$$

$$\text{Fact. Cemento} = \frac{0.665}{0.665} = 0.665$$

$$\text{Fact. Cemento} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \text{En bolsas seria:} \quad 8.6 \text{ bls/m}^3$$

2. Contenido de agregado grueso

$$\text{Peso del agregado grueso seco} = 0.619 \times 1671 = 1034.35 \text{ kg/m}^3$$

3. Volúmenes absolutos del cemento y ceniza volante

$$\text{Peso del cemento:} \quad C = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 75.00\% \quad = \quad 274.55 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de ceniza volante:} \quad CV = 366.07 \text{ kg/m}^3 \quad \times \quad 25.00\% \quad = \quad 91.52 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento} = \frac{274.55 \text{ kg/m}^3}{2.99 \times 1000} = 0.0918 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza volante} = \frac{91.52 \text{ kg/m}^3}{2.5 \times 1000} = 0.0366 \text{ m}^3$$

4. Volumen absoluto del agua

$$\text{Agua} = \frac{205 \text{ ltrs}}{1 \times 1000} = 0.2050 \text{ m}^3$$

5. Volumen absoluto del aire atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 \times 1} = 0.0200 \text{ m}^3$$

6. Volumen absoluto del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1034.35 \text{ kg/m}^3}{2.66 \times 1000} = 0.3889 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes absolutos} = 0.7423 \text{ m}^3$$

7. Contenido de agregado fino

$$\begin{aligned} \text{Volumen absorción agregado fino} &= 1 - 0.7423 \text{ m}^3 = 0.2580 \text{ m}^3 \\ \text{Peso del agregado fino seco} &= 0.2580 \text{ m}^3 \times 2.58 \times 1000 = 665.64 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

d) Cantidad de materiales por m<sup>3</sup> en peso

1. Cemento	274.55 kg/m <sup>3</sup>
2. Ceniza Volante	91.52 kg/m <sup>3</sup>
3. Agua de Diseño	205 ltrs/m <sup>3</sup>
4. Agregado Fino Seco	665.64 kg/m <sup>3</sup>
5. Agregado Grueso Seco	1034.35 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la mezcla</b>	<b>2271.06 kg/m<sup>3</sup></b>

e) Corrección por humedad del agregado

1. Peso humedo del agregado fino

$$\text{Agregado Fino} = 665.64 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 4.34/100}{1.0434} = 694.53 \text{ kg/m}^3$$

2. Peso humedo del agregado grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1 + 1.37/100}{1.0137} = 1048.52 \text{ kg/m}^3$$

f) Contribución de agua de los agregados

1. Humedad Superficial de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino} &= 4.34 - 4.06 = 0.28\% \\ \text{Agregado Grueso} &= 1.37 - 3.45 = -2.08\% \\ &= 1.80\% \end{aligned}$$

2. Aporte de humedad de los agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado fino seco} &= 665.64 \text{ kg/m}^3 \times 0.0028 = 2 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado grueso seco} &= 1034.35 \text{ kg/m}^3 \times -0.0208 = -22 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Aporte de humedad de los agregados} &= -20 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua efectiva} = 205 \text{ Lt/m}^3 - 20 \text{ Lt/m}^3 = 225 \text{ Lt/m}^3$$

g) Cantidad de materiales corregidos por m<sup>3</sup> de concreto

Cemento	=	275 kg/m <sup>3</sup>
Ceniza Volante	=	92 kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva	=	225 Lt/m <sup>3</sup>
Agregado fino humedo	=	695 kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso humedo	=	1049 kg/m <sup>3</sup>

h) Proporciones en peso por unidad de cemento

Cemento	=	$\frac{275 \text{ kg/m}^3}{275 \text{ kg/m}^3}$	=	1
Ceniza Volante	=	$\frac{92 \text{ kg/m}^3}{275 \text{ kg/m}^3}$	=	0.33
Agua efectiva	=	$\frac{225 \text{ kg/m}^3}{275 \text{ kg/m}^3}$	=	0.82
Agregado Fino	=	$\frac{695 \text{ kg/m}^3}{275 \text{ kg/m}^3}$	=	2.53
Agregado Grueso	=	$\frac{1049 \text{ kg/m}^3}{275 \text{ kg/m}^3}$	=	3.82

i) Cantidad de materiales corregidos por bolsa

Cemento	=	1	x	42.5	=	42.5 Kg/Bolsa
Ceniza Volante	=	0.33	x	42.5	=	14.0 Kg/Bolsa
Agua efectiva	=	0.82	x	42.5	=	34.9 Lt/Bolsa
Agregado fino humedo	=	2.53	x	42.5	=	107.5 Kg/Bolsa
Agregado grueso humedo	=	3.82	x	42.5	=	162.4 Kg/Bolsa

**CUADRO DE RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	Volum. Abso.	Pesos Secos / m <sup>3</sup>	Humedad	Pesos Kg/m <sup>3</sup>	Proporción
Cemento	0.0918 m <sup>3</sup>	274.55 kg/m <sup>3</sup>		274.55 kg/m <sup>3</sup>	<b>1</b>
Cenza Volante	0.0366 m <sup>3</sup>	91.52 kg/m <sup>3</sup>		91.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>0.33</b>
Agua	0.2050 m <sup>3</sup>	205.00 kg/m <sup>3</sup>	-1.80%	224.65 kg/m <sup>3</sup>	<b>34.85</b>
Agregado Fino	0.2580 m <sup>3</sup>	665.64 kg/m <sup>3</sup>	0.28%	694.53 kg/m <sup>3</sup>	<b>2.53</b>
Agregado Grueso	0.3889 m <sup>3</sup>	1034.35 kg/m <sup>3</sup>	-2.08%	1048.52 kg/m <sup>3</sup>	<b>3.82</b>
Aire	0.0200 m <sup>3</sup>				
				2334 kg/m <sup>3</sup>	

<b>Relación Agua/Cemento Efectiva</b>	<b>0.61</b>
---------------------------------------	-------------

## Anexo C: Certificados de pruebas a la compresión del concreto.

	<b>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES</b>	
---	---	---

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	05 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b>
<b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Dias)	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	15.08 cm	178.60 cm <sup>2</sup>	23810 kg	133.31 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	63.48%
02	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	14.99 cm	176.48 cm <sup>2</sup>	22270 kg	126.19 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	60.09%
03	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	14.96 cm	175.77 cm <sup>2</sup>	22710 kg	129.20 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	61.52%
04	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	15.00 cm	176.71 cm <sup>2</sup>	23250 kg	131.57 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	62.65%
05	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	15.00 cm	176.71 cm <sup>2</sup>	21890 kg	123.87 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	58.99%
06	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	14.99 cm	176.48 cm <sup>2</sup>	22120 kg	125.34 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	59.69%
07	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	15.00 cm	176.71 cm <sup>2</sup>	22440 kg	126.98 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	60.47%
08	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	14.98 cm	176.24 cm <sup>2</sup>	23410 kg	132.83 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	63.25%
09	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	15.04 cm	177.66 cm <sup>2</sup>	22410 kg	126.14 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	60.07%
10	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	15.01 cm	176.95 cm <sup>2</sup>	22480 kg	127.04 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	60.50%
11	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	10.01 cm	78.70 cm <sup>2</sup>	10420 kg	132.41 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	63.05%
12	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	05/11/2017	7 dias	10.02 cm	78.85 cm <sup>2</sup>	10490 kg	133.03 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	63.35%

**Observaciones:**

\* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el testista.

\*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el testista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Pérez Atoche Jafet Mánfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES**



<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	06 de noviembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**

**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.00 cm	176.71 cm2	18540 kg	104.91 kg/cm2	210 kg/cm2	49.96%
02	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.01 cm	176.95 cm2	18500 kg	104.55 kg/cm2	210 kg/cm2	49.79%
03	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.04 cm	177.66 cm2	19550 kg	110.04 kg/cm2	210 kg/cm2	52.40%
04	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.00 cm	176.71 cm2	17550 kg	99.31 kg/cm2	210 kg/cm2	47.29%
05	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.04 cm	177.66 cm2	19000 kg	106.95 kg/cm2	210 kg/cm2	50.93%
06	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.01 cm	176.95 cm2	18170 kg	102.68 kg/cm2	210 kg/cm2	48.90%
07	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.05 cm	177.89 cm2	18610 kg	104.61 kg/cm2	210 kg/cm2	49.82%
08	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.04 cm	177.66 cm2	18770 kg	105.65 kg/cm2	210 kg/cm2	50.31%
09	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.01 cm	176.95 cm2	18790 kg	106.19 kg/cm2	210 kg/cm2	50.57%
10	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	15.02 cm	177.19 cm2	17760 kg	100.23 kg/cm2	210 kg/cm2	47.73%
11	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	10.00 cm	78.54 cm2	9170 kg	116.76 kg/cm2	210 kg/cm2	55.60%
12	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	06/11/2017	7 días	9.99 cm	78.38 cm2	9210 kg	117.50 kg/cm2	210 kg/cm2	55.95%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred  
 R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
 CIP 68597  
 R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	07 de noviembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**  
**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.06 cm	178.13 cm2	16780 kg	94.20 kg/cm2	210 kg/cm2	44.86%
02	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.10 cm	179.08 cm2	16210 kg	90.52 kg/cm2	210 kg/cm2	43.10%
03	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.11 cm	179.32 cm2	16890 kg	94.19 kg/cm2	210 kg/cm2	44.85%
04	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.01 cm	176.95 cm2	17130 kg	96.81 kg/cm2	210 kg/cm2	46.10%
05	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.07 cm	178.37 cm2	17250 kg	96.71 kg/cm2	210 kg/cm2	46.05%
06	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.09 cm	178.84 cm2	16580 kg	92.71 kg/cm2	210 kg/cm2	44.15%
07	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.05 cm	177.89 cm2	16760 kg	94.21 kg/cm2	210 kg/cm2	44.86%
08	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.06 cm	178.13 cm2	16020 kg	89.93 kg/cm2	210 kg/cm2	42.83%
09	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.10 cm	179.08 cm2	18370 kg	102.58 kg/cm2	210 kg/cm2	48.85%
10	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	15.10 cm	179.08 cm2	18220 kg	101.74 kg/cm2	210 kg/cm2	48.45%
11	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	10.06 cm	79.49 cm2	8650 kg	108.83 kg/cm2	210 kg/cm2	51.82%
12	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	07/11/2017	7 días	10.00 cm	78.54 cm2	8610 kg	109.63 kg/cm2	210 kg/cm2	52.20%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



E. A. P. ING. CIVIL  
LAB. TEC. CONCRETO Y MATERIALES

Pérez Atoche Jafet Márfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



EP. ING. CIVIL  
COORDINADOR

Ing. Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	08 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b> <b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>
--

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.12 cm	179.55 cm <sup>2</sup>	15650 kg	87.16 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	41.51%
02	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.11 cm	179.32 cm <sup>2</sup>	16070 kg	89.62 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	42.68%
03	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.09 cm	178.84 cm <sup>2</sup>	14890 kg	83.26 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	39.65%
04	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.16 cm	180.50 cm <sup>2</sup>	15850 kg	87.81 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	41.81%
05	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.18 cm	180.98 cm <sup>2</sup>	15090 kg	83.38 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	39.70%
06	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.20 cm	181.46 cm <sup>2</sup>	16250 kg	89.55 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	42.64%
07	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	14.95 cm	175.54 cm <sup>2</sup>	16140 kg	91.95 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	43.78%
08	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.02 cm	177.19 cm <sup>2</sup>	17200 kg	97.07 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	46.23%
09	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.07 cm	178.37 cm <sup>2</sup>	17640 kg	98.90 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	47.09%
10	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	15.12 cm	179.55 cm <sup>2</sup>	15900 kg	88.55 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	42.17%
11	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	10.07 cm	79.64 cm <sup>2</sup>	8110 kg	101.83 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	48.49%
12	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	08/11/2017	7 días	9.99 cm	78.38 cm <sup>2</sup>	8100 kg	103.34 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	49.21%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



E. A. P. ING. CIVIL  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



E. P. ING. CIVIL  
COORDINADOR  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	09 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b> <b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>
--

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.03 cm	177.42 cm2	13430 kg	75.70 kg/cm2	210 kg/cm2	36.05%
02	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.05 cm	177.89 cm2	13490 kg	75.83 kg/cm2	210 kg/cm2	36.11%
03	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.02 cm	177.19 cm2	14170 kg	79.97 kg/cm2	210 kg/cm2	38.08%
04	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.06 cm	178.13 cm2	13510 kg	75.84 kg/cm2	210 kg/cm2	36.12%
05	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.03 cm	177.42 cm2	13420 kg	75.64 kg/cm2	210 kg/cm2	36.02%
06	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.08 cm	178.60 cm2	13740 kg	76.93 kg/cm2	210 kg/cm2	36.63%
07	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.08 cm	178.60 cm2	13600 kg	76.15 kg/cm2	210 kg/cm2	36.26%
08	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.13 cm	179.79 cm2	13560 kg	75.42 kg/cm2	210 kg/cm2	35.91%
09	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.04 cm	177.66 cm2	13650 kg	76.83 kg/cm2	210 kg/cm2	36.59%
10	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	15.04 cm	177.66 cm2	14710 kg	82.80 kg/cm2	210 kg/cm2	39.43%
11	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	10.07 cm	79.64 cm2	6540 kg	82.12 kg/cm2	210 kg/cm2	39.10%
12	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	09/11/2017	7 días	10.09 cm	79.96 cm2	6490 kg	81.17 kg/cm2	210 kg/cm2	38.65%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

  
 Jafet Márfred  
 R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

  
 Ing. Quispe Basualdo Rolando  
 CIP 68597  
 R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	10 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b>
<b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.04 cm	177.66 cm2	11930 kg	67.15 kg/cm2	210 kg/cm2	31.98%
02	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.00 cm	176.71 cm2	10890 kg	61.62 kg/cm2	210 kg/cm2	29.35%
03	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.02 cm	177.19 cm2	12070 kg	68.12 kg/cm2	210 kg/cm2	32.44%
04	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.08 cm	178.60 cm2	12010 kg	67.24 kg/cm2	210 kg/cm2	32.02%
05	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.00 cm	176.71 cm2	10920 kg	61.79 kg/cm2	210 kg/cm2	29.43%
06	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.27 cm	183.13 cm2	11240 kg	61.38 kg/cm2	210 kg/cm2	29.23%
07	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.27 cm	183.13 cm2	12100 kg	66.07 kg/cm2	210 kg/cm2	31.46%
08	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.29 cm	183.61 cm2	12060 kg	65.68 kg/cm2	210 kg/cm2	31.28%
09	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.21 cm	181.70 cm2	13150 kg	72.37 kg/cm2	210 kg/cm2	34.46%
10	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	15.00 cm	176.71 cm2	12210 kg	69.09 kg/cm2	210 kg/cm2	32.90%
11	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	10.00 cm	78.54 cm2	5120 kg	65.19 kg/cm2	210 kg/cm2	31.04%
12	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	10/11/2017	7 días	10.09 cm	79.96 cm2	5190 kg	64.91 kg/cm2	210 kg/cm2	30.91%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68397  
R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	12 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b> <b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>
--

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.12 cm	179.55 cm2	27060 kg	150.71 kg/cm2	210 kg/cm2	71.77%
02	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.13 cm	179.79 cm2	27670 kg	153.90 kg/cm2	210 kg/cm2	73.29%
03	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.06 cm	178.13 cm2	28190 kg	158.25 kg/cm2	210 kg/cm2	75.36%
04	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.07 cm	178.37 cm2	29180 kg	163.59 kg/cm2	210 kg/cm2	77.90%
05	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.04 cm	177.66 cm2	28820 kg	162.22 kg/cm2	210 kg/cm2	77.25%
06	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.03 cm	177.42 cm2	28590 kg	161.14 kg/cm2	210 kg/cm2	76.73%
07	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.13 cm	179.79 cm2	27550 kg	153.23 kg/cm2	210 kg/cm2	72.97%
08	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.08 cm	178.60 cm2	28710 kg	160.75 kg/cm2	210 kg/cm2	76.55%
09	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.30 cm	183.85 cm2	27860 kg	151.53 kg/cm2	210 kg/cm2	72.16%
10	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	15.40 cm	186.27 cm2	29110 kg	156.28 kg/cm2	210 kg/cm2	74.42%
11	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	10.00 cm	78.54 cm2	12480 kg	158.90 kg/cm2	210 kg/cm2	75.67%
12	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	12/11/2017	14 días	9.99 cm	78.38 cm2	12510 kg	159.60 kg/cm2	210 kg/cm2	76.00%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Pérez Atoche Jafet Márfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	13 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b> <b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>
--

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.05 cm	177.89 cm2	28280 kg	158.97 kg/cm2	210 kg/cm2	75.70%
02	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.01 cm	176.95 cm2	27410 kg	154.90 kg/cm2	210 kg/cm2	73.76%
03	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.02 cm	177.19 cm2	28250 kg	159.44 kg/cm2	210 kg/cm2	75.92%
04	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.12 cm	179.55 cm2	27230 kg	151.65 kg/cm2	210 kg/cm2	72.22%
05	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.09 cm	178.84 cm2	29330 kg	164.00 kg/cm2	210 kg/cm2	78.10%
06	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.05 cm	177.89 cm2	26930 kg	151.38 kg/cm2	210 kg/cm2	72.09%
07	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.11 cm	179.32 cm2	27140 kg	151.35 kg/cm2	210 kg/cm2	72.07%
08	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.07 cm	178.37 cm2	26580 kg	149.02 kg/cm2	210 kg/cm2	70.96%
09	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.12 cm	179.55 cm2	27260 kg	151.82 kg/cm2	210 kg/cm2	72.30%
10	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	15.10 cm	179.08 cm2	28620 kg	159.82 kg/cm2	210 kg/cm2	76.10%
11	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	10.05 cm	79.33 cm2	11980 kg	151.02 kg/cm2	210 kg/cm2	71.91%
12	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	13/11/2017	14 días	9.97 cm	78.07 cm2	11990 kg	153.58 kg/cm2	210 kg/cm2	73.13%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

  
 Jafet Márfred  
 R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

  
 Rolando Quispe Basualdo  
 CP 68597  
 R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	14 de noviembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**  
**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Dias)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.13 cm	179.79 cm2	23620 kg	131.37 kg/cm2	210 kg/cm2	62.56%
02	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.08 cm	178.60 cm2	24960 kg	139.75 kg/cm2	210 kg/cm2	66.55%
03	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.10 cm	179.08 cm2	24170 kg	134.97 kg/cm2	210 kg/cm2	64.27%
04	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.12 cm	179.55 cm2	24490 kg	136.39 kg/cm2	210 kg/cm2	64.95%
05	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.06 cm	178.13 cm2	24050 kg	135.01 kg/cm2	210 kg/cm2	64.29%
06	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.06 cm	178.13 cm2	24700 kg	138.66 kg/cm2	210 kg/cm2	66.03%
07	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.01 cm	176.95 cm2	26960 kg	152.36 kg/cm2	210 kg/cm2	72.55%
08	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.13 cm	179.79 cm2	27030 kg	150.34 kg/cm2	210 kg/cm2	71.59%
09	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.10 cm	179.08 cm2	25400 kg	141.84 kg/cm2	210 kg/cm2	67.54%
10	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	15.11 cm	179.32 cm2	24170 kg	134.79 kg/cm2	210 kg/cm2	64.19%
11	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	9.99 cm	78.38 cm2	11170 kg	142.51 kg/cm2	210 kg/cm2	67.86%
12	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	14/11/2017	14 dias	9.98 cm	78.23 cm2	11190 kg	143.05 kg/cm2	210 kg/cm2	68.12%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Atoche Jafet Mánfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	15 de noviembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**  
**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	15.09 cm	178.84 cm2	22140 kg	123.80 kg/cm2	210 kg/cm2	58.95%
02	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	15.10 cm	179.08 cm2	23280 kg	130.00 kg/cm2	210 kg/cm2	61.90%
03	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	15.02 cm	177.19 cm2	23820 kg	134.43 kg/cm2	210 kg/cm2	64.02%
04	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	15.04 cm	177.66 cm2	24540 kg	138.13 kg/cm2	210 kg/cm2	65.78%
05	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	15.00 cm	176.71 cm2	23530 kg	133.15 kg/cm2	210 kg/cm2	63.41%
06	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	14.99 cm	176.48 cm2	22450 kg	127.21 kg/cm2	210 kg/cm2	60.58%
07	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	15.00 cm	176.71 cm2	21570 kg	122.06 kg/cm2	210 kg/cm2	58.12%
08	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	14.98 cm	176.24 cm2	21310 kg	120.91 kg/cm2	210 kg/cm2	57.58%
09	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	14.99 cm	176.48 cm2	21910 kg	124.15 kg/cm2	210 kg/cm2	59.12%
10	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	15.03 cm	177.42 cm2	21100 kg	118.93 kg/cm2	210 kg/cm2	56.63%
11	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	10.05 cm	79.33 cm2	10250 kg	129.21 kg/cm2	210 kg/cm2	61.53%
12	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	15/11/2017	14 días	10.01 cm	78.70 cm2	10140 kg	128.85 kg/cm2	210 kg/cm2	61.36%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred  
 R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
 CIP 68597  
 R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPEU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Manfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Manfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	16 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b>
<b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Dias)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.03 cm	177.42 cm2	19960 kg	112.50 kg/cm2	210 kg/cm2	53.57%
02	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.10 cm	179.08 cm2	17430 kg	97.33 kg/cm2	210 kg/cm2	46.35%
03	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.00 cm	176.71 cm2	17700 kg	100.16 kg/cm2	210 kg/cm2	47.70%
04	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	14.99 cm	176.48 cm2	18920 kg	107.21 kg/cm2	210 kg/cm2	51.05%
05	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.07 cm	178.37 cm2	17840 kg	100.02 kg/cm2	210 kg/cm2	47.63%
06	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.04 cm	177.66 cm2	17750 kg	99.91 kg/cm2	210 kg/cm2	47.58%
07	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.12 cm	179.55 cm2	17800 kg	99.13 kg/cm2	210 kg/cm2	47.21%
08	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.11 cm	179.32 cm2	17990 kg	100.33 kg/cm2	210 kg/cm2	47.77%
09	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.09 cm	178.84 cm2	18380 kg	102.77 kg/cm2	210 kg/cm2	48.94%
10	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	15.17 cm	180.74 cm2	17840 kg	98.70 kg/cm2	210 kg/cm2	47.00%
11	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	10.04 cm	79.17 cm2	8120 kg	102.56 kg/cm2	210 kg/cm2	48.84%
12	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	16/11/2017	14 dias	10.03 cm	79.01 cm2	8230 kg	104.16 kg/cm2	210 kg/cm2	49.60%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Pérez Atoche Jafet Manfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68397  
R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	17 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b>
<b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	15.01 cm	176.95 cm2	16450 kg	92.96 kg/cm2	210 kg/cm2	44.27%
02	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	15.12 cm	179.55 cm2	15630 kg	87.05 kg/cm2	210 kg/cm2	41.45%
03	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	15.06 cm	178.13 cm2	15450 kg	86.73 kg/cm2	210 kg/cm2	41.30%
04	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	15.08 cm	178.60 cm2	17100 kg	95.74 kg/cm2	210 kg/cm2	45.59%
05	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	15.00 cm	176.71 cm2	14310 kg	80.98 kg/cm2	210 kg/cm2	38.56%
06	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	14.98 cm	176.24 cm2	14890 kg	84.49 kg/cm2	210 kg/cm2	40.23%
07	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	14.99 cm	176.48 cm2	15630 kg	88.57 kg/cm2	210 kg/cm2	42.17%
08	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	15.02 cm	177.19 cm2	16830 kg	94.98 kg/cm2	210 kg/cm2	45.23%
09	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	15.02 cm	177.19 cm2	16440 kg	92.78 kg/cm2	210 kg/cm2	44.18%
10	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	14.99 cm	176.48 cm2	16070 kg	91.06 kg/cm2	210 kg/cm2	43.36%
11	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	10.03 cm	79.01 cm2	7610 kg	96.31 kg/cm2	210 kg/cm2	45.86%
12	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	17/11/2017	14 días	10.10 cm	80.12 cm2	7630 kg	95.23 kg/cm2	210 kg/cm2	45.35%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio



PROYECTO :	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
SOLICITANTE :	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	ELABORADO POR :	Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred
RESPONSABLE:	Ing. Quispe Basualdo Rolando	FECHA:	26 de noviembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**  
**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.12 cm	179.55 cm <sup>2</sup>	39290 kg	218.82 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	104.20%
02	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.00 cm	176.71 cm <sup>2</sup>	38490 kg	217.81 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	103.72%
03	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	14.99 cm	176.48 cm <sup>2</sup>	36910 kg	209.15 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	99.59%
04	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.10 cm	179.08 cm <sup>2</sup>	37100 kg	207.17 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	98.65%
05	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.09 cm	178.84 cm <sup>2</sup>	38240 kg	213.82 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	101.82%
06	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.02 cm	177.19 cm <sup>2</sup>	37680 kg	212.66 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	101.27%
07	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.07 cm	178.37 cm <sup>2</sup>	38970 kg	218.48 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	104.04%
08	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.11 cm	179.32 cm <sup>2</sup>	39120 kg	218.16 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	103.89%
09	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.04 cm	177.66 cm <sup>2</sup>	37110 kg	208.88 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	99.47%
10	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	15.08 cm	178.60 cm <sup>2</sup>	39990 kg	223.90 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	106.62%
11	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	10.02 cm	78.85 cm <sup>2</sup>	17730 kg	224.85 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	107.07%
12	Cemento 100% Ceniza 0%	29/10/2017	26/11/2017	28 días	10.06 cm	79.49 cm <sup>2</sup>	18110 kg	227.84 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	108.50%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

Téc. Pérez Atoche Jafet Mánfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

Ing. Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES**



<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Manfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Manfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	27 de noviembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**  
**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	15.10 cm	179.08 cm <sup>2</sup>	41140 kg	229.73 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	109.40%
02	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	15.05 cm	177.89 cm <sup>2</sup>	41180 kg	231.49 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	110.23%
03	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	15.00 cm	176.71 cm <sup>2</sup>	41590 kg	235.35 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	112.07%
04	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	15.01 cm	176.95 cm <sup>2</sup>	40380 kg	228.20 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	108.67%
05	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	14.98 cm	176.24 cm <sup>2</sup>	40690 kg	230.87 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	109.94%
06	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	15.04 cm	177.66 cm <sup>2</sup>	41280 kg	232.36 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	110.65%
07	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	14.98 cm	176.24 cm <sup>2</sup>	41090 kg	233.14 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	111.02%
08	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	15.12 cm	179.55 cm <sup>2</sup>	40690 kg	226.62 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	107.91%
09	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	15.01 cm	176.95 cm <sup>2</sup>	41280 kg	233.29 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	111.09%
10	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	14.99 cm	176.48 cm <sup>2</sup>	41410 kg	234.65 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	111.74%
11	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	10.07 cm	79.64 cm <sup>2</sup>	19190 kg	240.95 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	114.74%
12	Cemento 95% Ceniza 5%	30/10/2017	27/11/2017	28 dias	10.01 cm	78.70 cm <sup>2</sup>	18950 kg	240.80 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	114.67%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Jafet Atoche Jafet Manfred  
 R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
 CIP 68597  
 R.P. de Laboratorio

<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	28 de noviembre de 2017

<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO</b>
<b>NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007</b>

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	15.12 cm	179.55 cm2	40230 kg	224.06 kg/cm2	210 kg/cm2	106.69%
02	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	15.13 cm	179.79 cm2	41290 kg	229.66 kg/cm2	210 kg/cm2	109.36%
03	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	15.10 cm	179.08 cm2	41110 kg	229.56 kg/cm2	210 kg/cm2	109.32%
04	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	15.08 cm	178.60 cm2	40100 kg	224.52 kg/cm2	210 kg/cm2	106.91%
05	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	15.03 cm	177.42 cm2	39980 kg	225.34 kg/cm2	210 kg/cm2	107.30%
06	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	15.02 cm	177.19 cm2	40010 kg	225.81 kg/cm2	210 kg/cm2	107.53%
07	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	15.00 cm	176.71 cm2	40030 kg	226.52 kg/cm2	210 kg/cm2	107.87%
08	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	14.99 cm	176.48 cm2	40100 kg	227.22 kg/cm2	210 kg/cm2	108.20%
09	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	14.98 cm	176.24 cm2	39930 kg	226.56 kg/cm2	210 kg/cm2	107.89%
10	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	15.16 cm	180.50 cm2	40250 kg	222.99 kg/cm2	210 kg/cm2	106.18%
11	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	10.00 cm	78.54 cm2	17860 kg	227.40 kg/cm2	210 kg/cm2	108.29%
12	Cemento 90% Ceniza 10%	31/10/2017	28/11/2017	28 días	10.01 cm	78.70 cm2	18110 kg	230.12 kg/cm2	210 kg/cm2	109.58%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

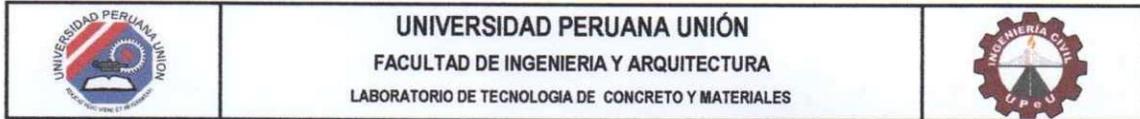


Pérez Atoche Jafet Márfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio



<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	29 de noviembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**  
**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm <sup>2</sup> )	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	15.10 cm	179.08 cm <sup>2</sup>	39380 kg	219.90 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	104.72%
02	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	15.02 cm	177.19 cm <sup>2</sup>	40120 kg	226.43 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	107.82%
03	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	15.18 cm	180.98 cm <sup>2</sup>	40100 kg	221.57 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	105.51%
04	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	14.98 cm	176.24 cm <sup>2</sup>	39870 kg	226.22 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	107.72%
05	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	15.19 cm	181.22 cm <sup>2</sup>	38110 kg	210.30 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	100.14%
06	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	15.20 cm	181.46 cm <sup>2</sup>	38020 kg	209.52 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	99.77%
07	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	15.00 cm	176.71 cm <sup>2</sup>	38020 kg	215.15 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	102.45%
08	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	15.03 cm	177.42 cm <sup>2</sup>	38000 kg	214.18 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	101.99%
09	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	14.97 cm	176.01 cm <sup>2</sup>	39120 kg	222.26 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	105.84%
10	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	14.99 cm	176.48 cm <sup>2</sup>	29730 kg	168.46 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	80.22%
11	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	10.00 cm	78.54 cm <sup>2</sup>	16910 kg	215.30 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	102.53%
12	Cemento 85% Ceniza 15%	01/11/2017	29/11/2017	28 días	10.00 cm	78.54 cm <sup>2</sup>	17230 kg	219.38 kg/cm <sup>2</sup>	210 kg/cm <sup>2</sup>	104.47%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

*[Signature]*  
Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred  
R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales

*[Signature]*  
Ing. Quispe Basualdo Rolando  
CIP 68597  
R.P. de Laboratorio



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES**



<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Márfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Márfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	30 de noviembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**

**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Dias)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	15.01 cm	176.95 cm2	35110 kg	198.42 kg/cm2	210 kg/cm2	94.48%
02	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	15.02 cm	177.19 cm2	35120 kg	198.21 kg/cm2	210 kg/cm2	94.39%
03	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	15.03 cm	177.42 cm2	35100 kg	197.83 kg/cm2	210 kg/cm2	94.21%
04	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	15.00 cm	176.71 cm2	35740 kg	202.25 kg/cm2	210 kg/cm2	96.31%
05	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	15.09 cm	178.84 cm2	35130 kg	196.43 kg/cm2	210 kg/cm2	93.54%
06	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	15.11 cm	179.32 cm2	35910 kg	200.26 kg/cm2	210 kg/cm2	95.36%
07	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	15.04 cm	177.66 cm2	35010 kg	197.06 kg/cm2	210 kg/cm2	93.84%
08	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	14.99 cm	176.48 cm2	35100 kg	198.89 kg/cm2	210 kg/cm2	94.71%
09	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	14.98 cm	176.24 cm2	35220 kg	199.84 kg/cm2	210 kg/cm2	95.16%
10	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	15.07 cm	178.37 cm2	35100 kg	196.78 kg/cm2	210 kg/cm2	93.71%
11	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	10.00 cm	78.54 cm2	15010 kg	191.11 kg/cm2	210 kg/cm2	91.01%
12	Cemento 80% Ceniza 20%	02/11/2017	30/11/2017	28 dias	10.03 cm	79.01 cm2	15100 kg	191.11 kg/cm2	210 kg/cm2	91.01%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Pérez Atoche Jafet Márfred  
 R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
 CIP 68597  
 R.P. de Laboratorio



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**LABORATORIO DE TECNOLOGIA DE CONCRETO Y MATERIALES**



<b>PROYECTO :</b>	Influencia de la Ceniza Volante "fly ash" como Sustituto Parcial del Cemento Portland IP en las Propiedades del Concreto con Agregados de la Cantera Surupana en la UPeU Filial Juliaca.		
<b>SOLICITANTE :</b>	Bach. Pérez Atoche Jafet Mánfred	<b>ELABORADO POR :</b>	Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred
<b>RESPONSABLE:</b>	Ing. Quispe Basualdo Rolando	<b>FECHA:</b>	01 de diciembre de 2017

**RESISTENCIA A LA COMPRESION EN CILINDROS DE CONCRETO**

**NTP 339.214:2007, NTP 339,216:2007**

ITEM	ESTRUCTURA	MOLDEO	ENSAYO	EDAD (Días)	DIAMETRO	AREA (cm2)	LECTURA (Kg)	RESISTENCIA TESTIGO	RESISTENCIA DISEÑO	RESISTENCIA PORCENTAJE
01	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	15.00 cm	176.71 cm2	33210 kg	187.93 kg/cm2	210 kg/cm2	89.49%
02	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	14.99 cm	176.48 cm2	32220 kg	182.57 kg/cm2	210 kg/cm2	86.94%
03	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	14.98 cm	176.24 cm2	32110 kg	182.19 kg/cm2	210 kg/cm2	86.76%
04	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	15.02 cm	177.19 cm2	32340 kg	182.52 kg/cm2	210 kg/cm2	86.91%
05	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	15.05 cm	177.89 cm2	31930 kg	179.49 kg/cm2	210 kg/cm2	85.47%
06	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	15.09 cm	178.84 cm2	31920 kg	178.48 kg/cm2	210 kg/cm2	84.99%
07	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	15.12 cm	179.55 cm2	32010 kg	178.28 kg/cm2	210 kg/cm2	84.89%
08	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	15.10 cm	179.08 cm2	32190 kg	179.75 kg/cm2	210 kg/cm2	85.60%
09	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	15.05 cm	177.89 cm2	31320 kg	176.06 kg/cm2	210 kg/cm2	83.84%
10	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	14.99 cm	176.48 cm2	32170 kg	182.29 kg/cm2	210 kg/cm2	86.80%
11	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	10.00 cm	78.54 cm2	14110 kg	179.65 kg/cm2	210 kg/cm2	85.55%
12	Cemento 75% Ceniza 25%	03/11/2017	01/12/2017	28 dias	10.01 cm	78.70 cm2	14180 kg	180.18 kg/cm2	210 kg/cm2	85.80%

**Observaciones:**

- \* Las muestras fueron elaboradas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.
- \*\* Las muestras fueron ensayadas en el laboratorio de tecnología de materiales y concreto por el tesista.

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Tec. Pérez Atoche Jafet Mánfred  
 R.S. de Laboratorio

UNIVERSIDAD PERUANA UNION  
 Laboratorio de Tecnología del Concreto y Materiales



Ing. Quispe Basualdo Rolando  
 CIP 68597  
 R.P. de Laboratorio

**Anexo D: Análisis físico y químico de la ceniza volante.**



Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N° 0278

# Certificado de Análisis L.Q - 2017

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de: **CEMENTO Y CENIZA VOLANTE**  
**PROCEDENCIA** : Central Termoeléctrica Ilo 21  
**TESIS** : "Influencia de la ceniza volante como sustituto parcial del Cemento Portland IP con agregados de la cantera Suropana"  
**INTERESADO** : Bach. Jafet Máfred Pérez Atoche  
**MOTIVO** : Control de calidad  
**MUESTREO** : 27/11/2017, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 27/11/2017

**CARACTERÍSTICAS FÍSICAS:**

Aspecto : Sólido  
 Color : Característico a los productos

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

Parámetros	Unidades	Ceniza Volante Clase F	Cemento Portland Puzolámico
Porcentaje de humedad	%	1.25	0.91
Peso Especifico Relativo al Cemento	PERC	2.50	2.99
Color aparente	---	Gris oscuro	Gris claro

**OBSERVACION**

1.- Temperatura promedio de análisis: 20.1 Celsius.

Puno, C.U. 11 de diciembre del 2017.  
 v°b°



*[Signature]*

Ing. Sc. Edith Tello Palma  
 DECANA F.I.Q.



*[Signature]*  
 Ing. M.Sc. María Rodríguez Melo  
 Jefe Laboratorio Control de Calidad  
 FACULTAD INGENIERÍA QUÍMICA  
 UNA - PUNO

# Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.

Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelsur.com

## INFORME DE ENSAYO LAS-17-00211

Fecha de emisión: 02/10/2017  
Pág.: 1/1

**Señores:** Jafet Mánfred Pérez Atoche  
**Dirección:** Jr. Unión H-13 Tepro, Salcedo - Puno  
**Atención:** Jafet Mánfred Pérez Atoche  
**Recepción:** 25/09/2017  
**Realización:** 25/09/2017

**Método de ensayo aplicado**

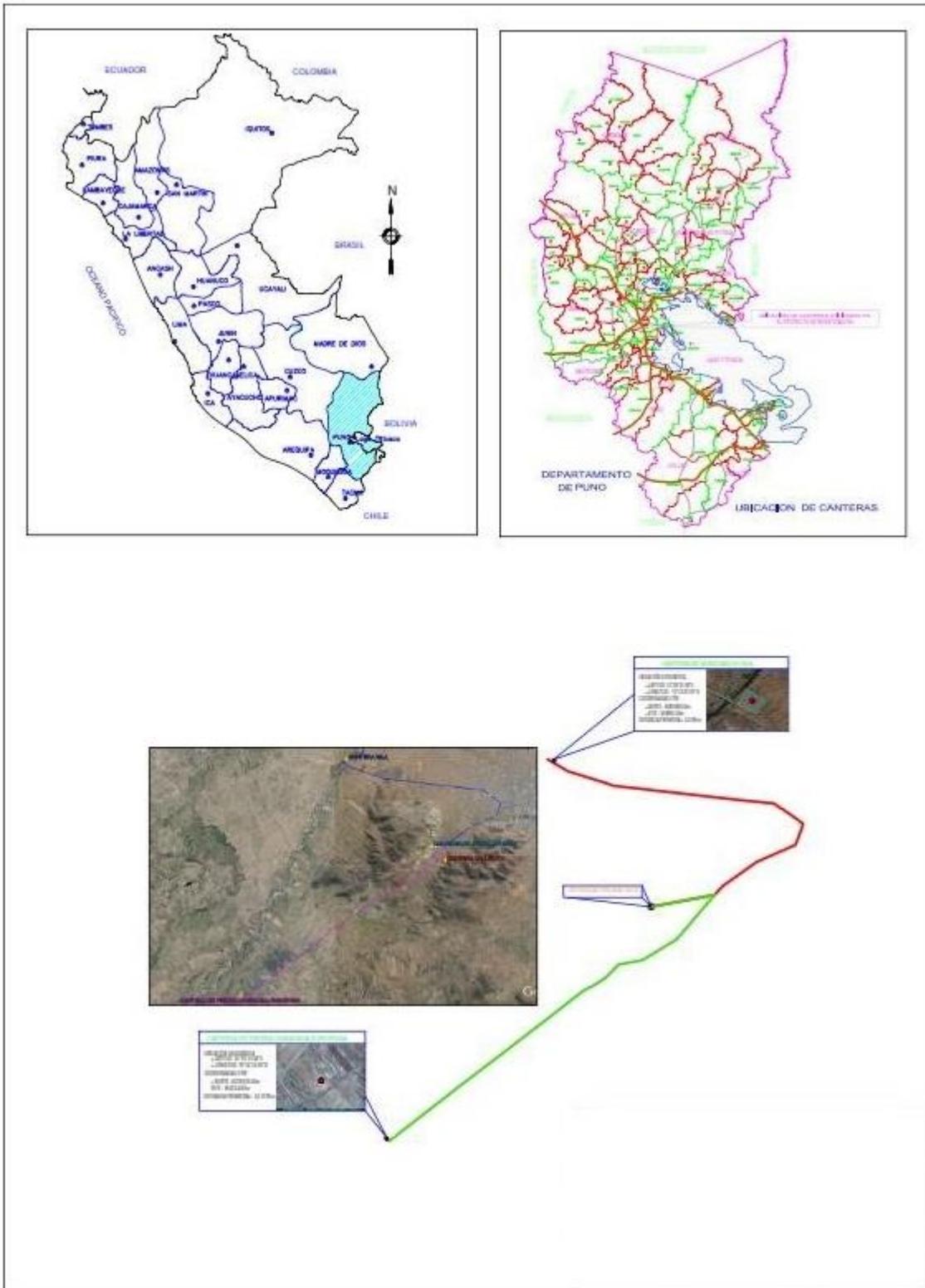
- \*700 Determinación de humedad en minerales
- \*590 Método de ensayo para Fósforo total por fotometría
- \*567 Método de Ensayo para Sulfatos por Digestión Específica - Fotometría
- \*592 Método de Ensayo para Rocas Fusión alcalina (SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O)
- \*582 Determinación de pérdidas de calcinación por Gravimetría (LOI)

Muestra	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*700 H <sub>2</sub> O %	*590 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	*567 SO <sub>4</sub> = ppm	SO <sub>3</sub> ppm	*592 SiO <sub>2</sub> %	*592 CaO %	*592 MgO %	*592 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	*592 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	*592 Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	*592 Na <sub>2</sub> O %	*592 K <sub>2</sub> O %	*582 LOI %
MN15000768	CENIZA VOLANTE CLASE F	CENIZA	Central Termoeléctrica Ilo 21	4,46	1934	8400	7000	50,18	0,17	1,37	15,29	8,18	0,17	8,44	2,85	3,91

  
Sr. Jafet Mánfred Pérez Atoche  
Gerente General  
Inq. Químico CIP-19474

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.

**Anexo E: Plano de ubicación cantera de piedra chancada.**



## Anexo F: Fichas de datos de seguridad de la ceniza volante ENERSUR.

### FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

#### SECCIÓN 1: IDENTIFICACIÓN

**Ingestión:** provocar efectos fuertes en el travto digestivo.

#### SECCIÓN 3: COMPOSICIÓN

- SiO<sub>2</sub>: 18 a 66%
- Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 15 a 32%
- Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: 2 a 21%
- CaO: 0.5 a 23%
- MgO: 0.3 a 11.5%
- Na<sub>2</sub>O: 0.1 a 3.0%
- K<sub>2</sub>O: 0.3 a 2.0%
- TiO<sub>2</sub>: 0.6 a 1.7%
- SO<sub>3</sub>: 0.1 a 16%
- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 0.05 a 1.0%

#### SECCIÓN 4: PRIMEROS AUXILIOS

<b>Contacto Ocular:</b>	Lavar con abundante agua por 15 minutos, levantando los párpados, si se mantienen partículas no retirarlas, vendar ambos ojos y buscar atención médica.
<b>Contacto Dérmico:</b>	Enjuagar la parte afectada con agua y con jabón neutro para la piel, si se tiene molestias en la piel acudir al médico.
<b>Inhalación:</b>	Llevar al afectado a un área despejada y libre de los polvos. Obtener atención médica si persisten las molestias respiratorias.
<b>Ingestión:</b>	No provocar vomito. Si el afectado esta consiente, beber abúndate agua e ir inmediatamente al Centro de Salud más cercano.

#### SECCIÓN 5: MEDIDAS CONTRA INCENDIO

<b>Punto de inflamación:</b>	No es combustible
<b>Medios de extinción:</b>	No aplica.

#### SECCIÓN 6: MEDIDAS CONTRA DERRAMES

<b>Generalidades:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Delimitar el área.</li><li>• Evitar el levantamiento del polvo de ceniza humedeciendo con agua.</li><li>• Utilizar EPP según sección 8.</li></ul>
-----------------------	---

## SECCIÓN 7: MANEJO Y ALMACENAJE

<b>Generalidades:</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Mantener las cenizas húmeda y compactada en cancha, de acuerdo al PROCTOR.</li><li>• El área de almacenaje debe estar ventilada.</li><li>• Si se utiliza silo o recipiente de almacenaje manejarse como espacio confinado.</li><li>• Cuidado con el desprendimiento de cenizas dentro de los espacios cerrados o confinados (atrapamiento o asfixia).</li><li>• Conectar a tierra los equipos de transporte cuando se carguen las cenizas.</li><li>• Para el manejo utilizar el EPP según sección 8.</li><li>• Para la limpieza evitar actividades que levanten el polvo y utilizar el EPP según sección 8.</li></ul>
-----------------------	---

## SECCIÓN 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN y EPP

Mantenga las áreas humedecidas y compactadas de ser necesario. Evitar en todo momento respirar los polvos de ceniza.

<b>Protección Respiratoria:</b>	Utilizar respiradores contra partículas de polvos aprobado por NIOSH. Para emergencia con presencia de polvos utilizar respiradores autocontenidos.
<b>Protección de Ojos:</b>	Utilizar lentes de protección de ojos según ANSI al manipular el polvo o las cenizas húmedas para evitar que entre en contacto con los ojos. No se recomienda utilizar lentes de contacto en condiciones polvorientas.
<b>Protección de piel:</b>	Utilizar overoles desechables, guantes de cuero para el manejo de la ceniza. Quitarse la ropa y los equipos de protección que se saturan de cenizas y lavar las áreas expuestas inmediatamente. Retirarse la protección de piel en un área asignada. Ducharse con jabón neutro después de la jornada de trabajo
<b>Protección de los pies:</b>	Utilizar calzado de seguridad

## SECCIÓN 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

- Estado físico: Sólido (polvo)
- Aspecto: color gris y negro
- Olor: Ninguno
- Densidad seca : 1.4

- pH en agua: 6.0 - 7.5
- Solubilidad en agua: Insoluble
- Viscosidad: Ninguna – Sólido

## **SECCIÓN 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD**

<b>Estabilidad:</b>	Estable
<b>Incompatibilidad:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguna</li> </ul>

## **SECCIÓN 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

Consulte al médico de tener alguna exposición tipificada en los primeros auxilios, en la sección 4.

## **SECCIÓN 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA**

Consulte la legislación nacional para la utilización de este producto.

## **SECCIÓN 13: DISPOSICIÓN**

Consulte la legislación nacional para disponer este producto.

De acuerdo al DS 057-2004-PCM Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos, la ceniza de carbón de plantas termoeléctricas no es considerada como residuo peligroso

De acuerdo al Convenio de Basilea del 22 de marzo del 1989 y puesto en marcha desde el 5 de mayo del 1992, la ceniza de carbón de plantas termoeléctricas no está considerada como en la categoría de desechos que se deben controlar (Anexo I), ni en la categoría de desechos que requieran una consideración especial (Anexo III)

## **SECCIÓN 14: TRANSPORTE**

No es considerado como material peligroso. En caso de derrame durante el transporte seguir lo indicado en la sección 6

## **Anexo G: Análisis estadístico para la validación de hipótesis previa a la T de Student.**

### **Anexo G-1: Distribución de frecuencias.**

#### **Normalidad de la variable**

Las muestras en la presente investigación son independientes, ya que los datos tomados para nuestras muestras, serán tomados por una única vez y serán muestras con diferentes dosificaciones (ceniza volante).

#### **Tabla de distribución de frecuencias**

Tomemos cualquier resultado de la resistencia de briquetas de concreto, en este caso concreto con “95% cemento portland IP +5% ceniza volante” a los 7 días.

##### *Tabla*

*Resistencia a la compresión del concreto con 95% cemento +5% ceniza volante a los 7 días.*

<b>Nº de Ensayo</b>	<b>Resistencia del concreto (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
1	104.91
2	104.55
3	110.04
4	99.31
5	106.95
6	102.68
7	104.61
8	105.65
9	106.19
10	100.23

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Para la construcción de la distribución de frecuencias con los datos de la anterior tabla, se realiza con los siguientes pasos:

- 1) Cálculo la amplitud o rango de los datos  $R = X_{\text{mayor}} - X_{\text{menor}} = 110.04 - 99.31 = 10.73$
- 2) Número de clases. Usamos la fórmula de Sturges  $K = 1 + 3.322 \log (n) = 1 + 3.322 \log (10) = 4.32 \approx 4$  clases

- 3) Tamaño de clase:  $C = \frac{R}{K} = \frac{10.73}{4} = 2.68, C \approx 3$
- 4) Intervalos de clase ( $\Delta$ ) Deben cumplir la condición de que el primer intervalo debe contener al primer elemento y el último al elemento mayor, como los datos son con dos decimales entonces tomemos  $\Delta = 0.01$ , que es el valor que separa una clase de la otra.
- Por lo tanto se le suma:  $C - \Delta = 3 - 0.01 = 2.99$  si iniciamos con el dato menor:
- Con lo indicado anteriormente la tabla quedará de la siguiente manera:

*Tabla*

*Distribución de frecuencias para el concreto con 95% Cemento Portland +5% Ceniza Volante a los 7 días.*

Clases	Límite inferior	Límite superior	Frecuencia absoluta	Marcas de clase	$x_i * f_i$	$f_i * \frac{(x_i - \bar{X})^2}{\bar{X}^2}$	$f_i * (x_i - \bar{X})^3$	$f_i * (x_i - \bar{X})^4$
	( $L_i$ )	( $L_s$ )	( $f_i$ )	( $x_i$ )				
1	99.32	102.31	2	100.815	201.63	30.420	-118.638	462.688
2	102.32	105.31	4	103.815	415.26	3.240	-2.916	2.624
3	105.32	108.31	3	106.815	320.445	13.230	27.783	58.344
4	108.32	111.31	1	109.815	109.815	26.010	132.651	676.520
Total =			10	SUMAS	1047.15	73	39	1,200

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Donde

Las marcas de clase que se obtienen como el valor medio de cada clase:  $x_i = \frac{L_i + L_s}{2}$

La media aritmética:  $\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^4 (x_i * f_i)}{n} = 104.72$

La varianza:  $\hat{S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{X})^2 * f_i}{n-1} = 8.10$

La desviación estándar:  $\hat{S} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{X})^2 * f_i}{n-1}} = 2.84$

El Coeficiente de Variación:  $CV = \frac{\hat{S}}{\bar{X}} * 100 \% = 2.72\%$

El gráfico de la distribución de frecuencias será:

Similarmente para los todos los concretos con diferentes proporciones de ceniza volante:

Tabla

*Cálculo de sesgo y curtosis para el concreto a una edad de 7 días.*

<b>Edad del Concreto: 7 días</b>						
Descripción	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Cemento	100%	95%	90%	85%	80%	75%
Ceniza Volante	0%	5%	10%	15%	20%	25%
$\bar{X}$	128.38	104.72	95.63	88.32	77.42	65.58
Varianza	10	8.1	16.4	17.07	4.67	6.9
Desviación estándar	3.16	2.85	4.05	4.13	2.16	2.63
Coefficiente de Variación	2.46%	2.72%	4.23%	4.68%	2.79%	4.01%
Grado de control	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Muy bueno	Suficiente
$g_1$	0.6	0.1975	0.6514	0.8675	1.673	1.2353
$g_2$	0.8	0.7417	0.6163	0.2708	1.0476	1.4984

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla

*Cálculo de sesgo y curtosis para el concreto a una edad de 14 días.*

<b>Edad del Concreto: 14 días</b>						
Descripción	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Cemento	100%	95%	90%	85%	80%	75%
Ceniza Volante	0%	5%	10%	15%	20%	25%
$\bar{X}$	158.81	150.74	137.82	125.16	100.9	86.35
Varianza	19.6	19.38	29.78	20.62	15.82	18.67
Desviación estándar	4.43	4.4	5.46	4.54	3.98	4.32
Coefficiente de Variación	2.79%	2.92%	3.96%	3.63%	3.94%	5.00%
Grado de control	Muy bueno	Muy bueno	Bueno	Bueno	Bueno	Suficiente
$g_1$	0.3586	0.7276	1.0457	0.8837	0.9147	0
$g_2$	1.1479	0.8405	0.126	0.7681	0.0285	1.1293

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Tabla

*Cálculo de sesgo y curtosis para el concreto a una edad de 28 días.*

<b>Edad del Concreto: 28 días</b>						
Descripción	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4	Grupo 5	Grupo 6
Cemento	100%	95%	90%	85%	80%	75%
Ceniza Volante	0%	5%	10%	15%	20%	25%
$\bar{X}$	219.99	231.52	228.48	213.33	183.78	144.36
Varianza	64	27.78	11.38	16	17.96	6.1
Desviación estándar	8	5.27	3.37	4	4.24	2.47
Coficiente de Variación	3.64%	2.28%	1.48%	1.88%	2.31%	1.71%
Grado de control	Bueno	Muy Bueno	Excelente	Excelente	Muy Bueno	Excelente
$g_1$	0.2965	0.6	0.3281	0.2965	0.0355	0.6801
$g_2$	0.9687	0.8	0.3359	0.9688	1.2456	0.1543

**Nota:** Fuente: Elaboración Propia

Se observa que en la mayoría de casos se cumple:  $|g_1| \leq 0.5$  y  $|g_2| \leq 0.5$  por ello decimos que los datos están distribuidos según una distribución normal en cada grupo.

**Anexo F: Panel fotográfico.**



**Fotografía 1.** Carretera y desvío hacia la central termoeléctrica de Ilo21.



**Fotografía 2.** Visita a la central termoeléctrica de Ilo21.



**Fotografía 3.** Central termoeléctrica de Ilo21 vista superficial.



**Fotografía 4.** Ceniza volante "fly ash" recojida de la termoeléctrica de Ilo21.



**Fotografía 5.** *Mostrando la ceniza volante “fly ash” de la termoeléctrica de Ilo21.*



**Fotografía 6.** *Ensayo de granulometría.*



**Fotografía 7.** *En el frontis de la constructora surupana.*



**Fotografía 8.** *Recogiendo la piedra chancada.*



**Fotografía 9.** *Faja transportadora de piedra chancada.*



**Fotografía 10.** *Piedra chancada colocada por diferentes diámetros.*



**Fotografía 11.** *Ceniza volante “fly ash” siendo pesada.*



**Fotografía 12.** *Ceniza volante “fly ash” traída desde la central termoeléctrica de Ilo21.*



**Fotografía 13.** *Elaboración de concreto.*



**Fotografía 14.** *Colocación del concreto en el buggy.*



**Fotografía 15.** Mezcladora de concreto tipo trompo utilizada para la realización de muestras.



**Fotografía 16.** Antes del colocado de concreto en cada molde.



**Fotografía 17.** *Presentación de los moldes para la realización concreto.*



**Fotografía 18.** *Ensayo de asentamiento “slump” en el concreto.*



**Fotografía 19.** *Medición del asentamiento “slump” en el concreto.*



**Fotografía 20.** *Colocación del concreto en los moldes.*



**Fotografía 21.** *Varillado del concreto en los moldes.*



**Fotografía 22.** *Equipo de trabajo para la realización de los testigos.*



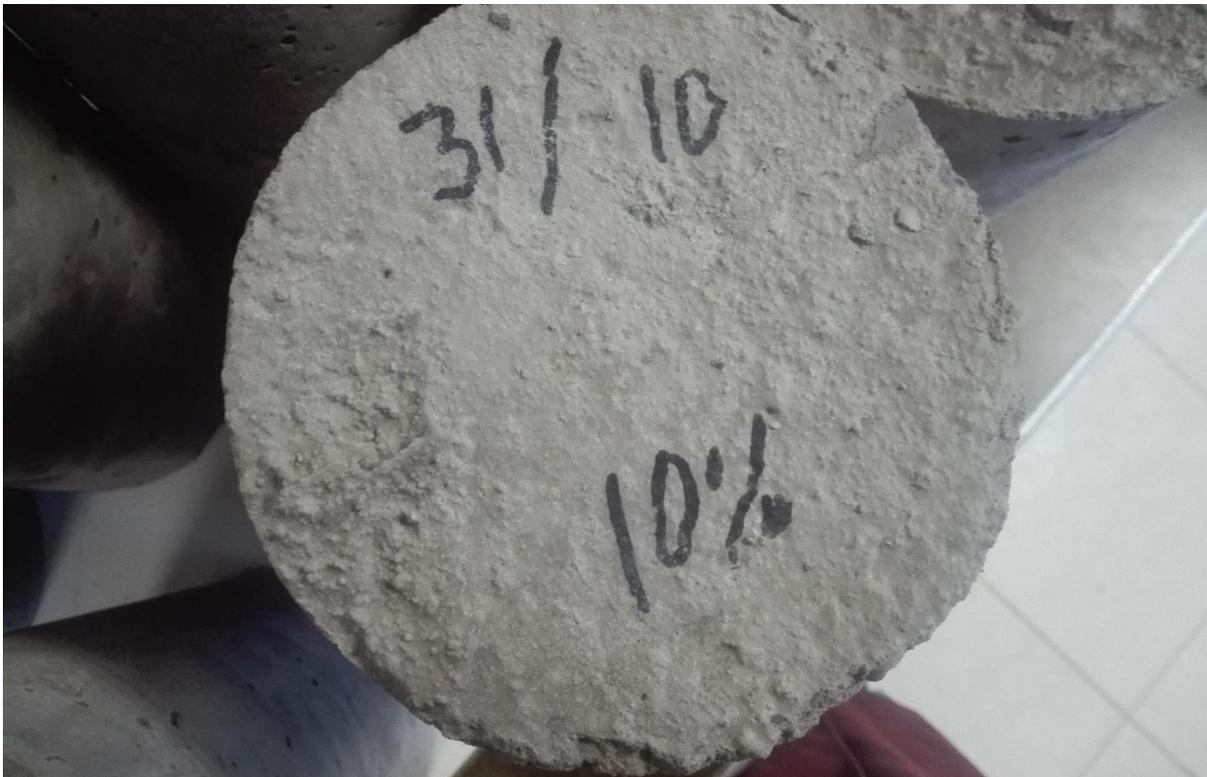
**Fotografía 23.** *Equipo de trabajo*



**Fotografía 24.** *Lugar de trabajo para la realización de los testigos.*



**Fotografía 25.** Testigos de concreto después de ser desmoldados.



**Fotografía 26.** Testigo con 90% de cemento y 10% de ceniza volante.



**Fotografía 27.** *Poza de curado de los testigos de concreto.*



**Fotografía 28.** *Prensa hidráulica de concreto.*



**Fotografía 29.** *Muestras de concreto ensayadas.*



**Fotografía 30.** *Mostrando las probetas ensayadas.*