

UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EFECTOS DE LA CENIZA VOLANTE EN LA
ELABORACION DE LOS CONCRETOS EN LA
LOCALIDAD DE NUÑO A PROVINCIA DE MELGAR -
PUNO”**

PRESENTADO POR:

Bach. EUGENIO QUISPE GALINDO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

JULIACA - PERÚ

2016



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ACTA DE TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

En Juliaca, siendo las 12:00 Hrs. del 10 de diciembre del 2016, bajo la presidencia del catedrático:

Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI

Se inició la Sesión Pública de Sustentación y Evaluación correspondiente, para obtener el Título Profesional de **INGENIERO CIVIL**, bajo la modalidad de Sistema de Tesis (Resolución 3175-2003-R-UAP), en la que:

QUISPE GALINDO, EUGENIO

Sustento la Tesis titulada:

“EFECTOS DE LA CENIZA VOLANTE EN LA ELABORACIÓN DE LOS CONCRETOS EN LA LOCALIDAD DE NUÑO A PROVINCIA DE MELGAR - PUNO”

Ante el Jurado integrado por los señores catedráticos:

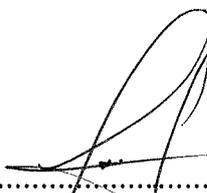
Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI	<i>(Presidente)</i>
Ing. ALFREDO PONCE FLORES	<i>(Miembro/Secretario)</i>
Ing. LUIS ALBERTO SUPO QUISPE	<i>(Miembro)</i>

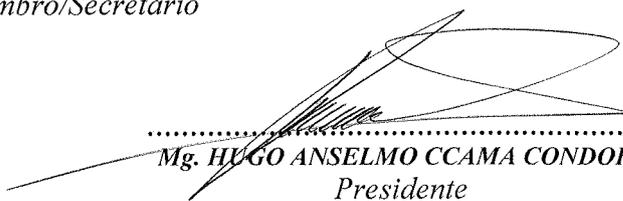
Sustentado el mismo, el graduando obtuvo el siguiente resultado:

APROBADO POR UNANIMIDAD

En fe de lo cual se asentó la presente Acta que firman el Señor Presidente y los demás miembros del Jurado.


.....
Ing. ALFREDO PONCE FLORES
Miembro/Secretario


.....
Ing. LUIS ALBERTO SUPO QUISPE
Miembro


.....
Mg. HUGO ANSELMO CCAMA CONDORI
Presidente

DEDICATORIA

La presente tesis ha pasado a formar una de las experiencias más importantes de mi vida y por este motivo va dedicada en primer lugar a Dios por ser la luz que guía mi camino, a mis padres, a mis hermanos, mi esposa mi adoración, por su apoyo incondicional y por estar siempre a mi lado, a los ingenieros que me brindaron su ayuda profesional y permitieron que esto se realice y finalmente a mis compañeros y amigos de toda la vida que confiaron en mi persona.

Eugenio Q. G.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de volver a nacer y permitirme lograr una meta más en el transcurso de mi vida.

A mis padres por creer en mí y brindarme a lo largo de mi carrera universitaria su amor y fortaleza.

A mis hermanos, por sus apoyos valiosos y amistad.

A mi esposa Yeny Elsy y mi hija Nicole, son las razones de mi vida. Y finalmente a todos aquellos que no he nombrado pero que me han ayudado a culminar mis estudios universitarios de la mejor manera.

Eugenio Q. G.

RESUMEN

El presente trabajo de Investigación denominado “Efectos de la ceniza volante en la elaboración de los concretos en la localidad de Nuñoa, provincia de Melgar, región Puno”, el problema principal que se ha estudiado y que se pretende resolver en la actualidad son las estructuras de concreto que están constantemente expuestas a deterioros ya sean estas debido a la exposición constante al agua o que se hallen en un medio agresivo, el objetivo general de presente trabajo ha sido evaluar los efectos de la ceniza volante a diferentes proporciones en las propiedades mecánicas del concreto en la localidad de Nuñoa, Melgar, Puno. La metodología que se empleo es el método del ACI para el diseño de mezclas, ensayos para el concreto fresco, ensayo de 60 probetas cilíndricas de concreto endurecido usando diferentes proporciones de ceniza volante. En el presente trabajo se evaluó el uso de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento en distintas proporciones. Por un lado se evaluó los efectos de la ceniza volante en las propiedades de concreto y la proporción óptima en diseño de mezclas, y sus efectos que produce al concreto fresco, en su resistencia al concreto endurecido emplearan diferentes proporciones de ceniza volante para los concretos estructurales. El diseño estadístico fue completamente al azar (DCA) con arreglo factorial, para las comparaciones, se usó la prueba de Duncan. Los resultados fueron: a) La aplicación de diferentes porcentajes de ceniza volante, indican que la resistencia a medida que aumenta el número de días desarrolla mejor, pero con la dosis al 5%. Mientras que, disminuye a medida que aumenta la dosis de ceniza volante. b) En la consistencia del concreto obtenido en la investigación para los diseños de mezcla, según la relación de agua y cemento obtenido en nuestro diseño de mezclas ($a/c = 0.55$), no se debe dejar de lado la cantidad de cemento en la fabricación de concretos, debido a que se correría con el riesgo de perder la resistencia a la compresión del concreto, ya que los resultados obtenidos demuestran que una dosis al 5% de ceniza volante, cumple su resistencia hasta los 28 días de evaluación. A mayor proporción de la ceniza volante el concreto pierde su resistencia a la compresión. c) El diseño de mezclas con adición de ceniza volante óptimo para un concreto de $f'c=210\text{kg./cm}^2$, se encontró con 05% de ceniza volante, como límite máximo, no pudiendo añadir dosis mayores; por tanto la proporción de diseño de mezcla sería: cemento 41.44 kg, ceniza volante 1.06 kg, agregado fino 126.60 kg, agregado grueso 56.40 kg y agua 23.70 lt, para la localidad de Nuñoa , provincia de Melgar región de Puno.

Palabras clave: briquetas, ceniza volante, concreto, resistencia.

ABSTRACT

The present research work entitled "Effects of fly ash in concrete production in the town of Nuñoa, Melgar province, Puno region", the main problem that has been studied and is currently intended to solve are the structures of Concrete that are constantly exposed to deterioration due to constant exposure to water or in an aggressive environment, the general objective of this work has been to evaluate the effects of fly ash at different proportions in the mechanical properties of concrete In the town of Nuñoa, Melgar, Puno. The methodology used is the ICA method for the design of mixtures, tests for fresh concrete, test of 60 cylindrical specimens of hardened concrete using different fly ash proportions. In the present work, the use of fly ash was evaluated as a partial substitute for cement in different proportions. On the one hand, the effects of fly ash on concrete properties and the optimum proportion on mix design were evaluated, and its effects on fresh concrete in their resistance to hardened concrete used different fly ash proportions for structural concretes. The statistical design was completely randomized (DCA) with factorial arrangement, for the comparisons, the Duncan test was used. The results were: a) The application of different fly ash percentages, indicate that the resistance increases as the number of days develops better, but with the dose at 5%. While, it decreases as the dose of fly ash increases. B) In the consistency of the concrete obtained in the research for the mixing designs, according to the ratio of water and cement obtained in our mix design ($a / c = 0.55$), the amount of cement in the mix should not be left aside. Manufacturing of concrete, because it would run the risk of losing the compressive strength of the concrete, since the results obtained demonstrate that a dose to 5% of fly ash, meets its resistance up to 28 days of evaluation. To a greater proportion of the fly ash the concrete loses its resistance to compression. C) The design of mixtures with the addition of optimum fly ash for a concrete of $f'c = 210 \text{ kg / cm}^2$, was found with 05% of fly ash, as maximum limit, not being able to add larger doses; So the proportion of mix design would be: cement 41.44 kg, fly ash 1.06 kg, fine aggregate 126.60 kg, coarse aggregate 56.40 kg and water 23.70 lt, for the town of Nuñoa, Melgar province of Puno region.

Key words: briquettes, fly ash, concrete, resistance.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	17
CAPÍTULO I	18
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	18
1.2. DELIMITACIONES DEL PROBLEMA	19
1.2.1. Delimitación espacial.....	19
1.2.2. Delimitación temporal.....	19
1.2.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	20
1.2.4. Problema general	20
1.2.5. Problemas específicos	20
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.3.1. Objetivos generales.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.4.1. Hipótesis general	21
1.4.2. Hipótesis específicas.....	21
1.5. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.5.1. Variables independiente (X)	21
1.5.2. Variable dependiente (Y).....	21
1.5.3. Operacionalización de variables	22
CAPITULO II	23
MARCO TEÓRICO	23
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	23

2.2.	JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	26
2.2.1.	Justificación técnica	26
2.2.2.	Justificación práctica	27
2.2.3.	Importancia	28
2.3.	BASES TEÓRICAS.....	29
2.3.1.	Procesos de generación de la ceniza volante	29
2.3.2.	La ceniza volante de carbón: Formación y composición química.....	35
2.3.3.	Formación de la ceniza volante.....	36
2.3.4.	Composición química de las cenizas volantes.	37
2.3.5.	Ceniza volante clase F	37
2.3.6.	Interacción en la hidratación del cemento y la ceniza volante.....	40
2.3.7.	Desarrollo de la resistencia, influencia de la temperatura y curado.	41
2.3.8.	Tipos de concreto.....	43
2.3.9.	Componentes del concreto.	44
2.3.10.	Elaboración del cemento portland	45
2.3.11.	Composición del cemento portland.	45
2.3.12.	Fraguado inicial.....	47
2.3.13.	Fraguado Final	48
2.3.14.	Endurecimiento.	48
2.3.15.	Normas de calidad del cemento.....	48
2.3.16.	Tipos de cemento portland.....	49
2.3.17.	Clases de los agregados.....	51
2.3.18.	Agua.....	52
2.3.19.	Concreto fresco.....	53

2.3.20. Concreto endurecido.....	54
2.4. DEFINICION DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	54
2.4.1. La ceniza volante	54
2.4.2. El concreto.....	55
2.4.3. El cemento	55
2.4.4. Los Agregados.....	55
2.4.5. El diseño de mezclas	56
CAPITULO III	57
PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACION.....	57
3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN	57
3.1.1. Características climáticas de la zona en estudio.....	57
3.2. Tipo de investigación.....	58
3.3. Nivel de Investigación	58
3.4. Método de investigación.....	58
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	59
3.5.1. Población	59
3.5.2. Muestra	59
3.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	59
3.7. MATERIALES EMPLEADOS	61
3.8. Elaboración de los concretos	66
3.8.1. Método del ACI para el diseño de mezclas	66
3.8.2. Ensayos realizados en el concreto fresco	73
3.8.3. Ensayo para la elaboración de probetas cilíndricas de concreto	75
3.8.4. Curado de los especímenes de concreto.....	76

3.8.5.	Ensayos realizados en el concreto endurecido	76
3.8.6.	Determinación de la consistencia.....	76
3.9.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.	77
3.9.1.	Técnicas.....	77
3.9.2.	Instrumentos	78
3.10.	VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION	78
3.10.1.	Viabilidad Tecnica	78
3.10.2.	Viabilidad Social.....	78
3.10.3.	Viabilidad Economica	78
	CAPITULO IV.....	79
4.1.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	80
4.1.1.	RESISTENCIA DEL CONCRETO ENDURECIDO A DIFERENTES PROPORCIONES DE CENIZA VOLANTE EN LA MEZCLA DE CONCRETO.....	81
4.1.2.	VARIACIÓN DE LA EDAD DEL CONCRETO SOBRE LA CONSISTENCIA QUE GENERA LA CENIZA VOLANTE COMO ADICIONADO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS.....	83
4.1.3.	PROPORCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONCRETO DE $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	86
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	91
4.2.1.	RESISTENCIA DEL CONCRETO ENDURECIDO A DIFERENTES PROPORCIONES DE CENIZA VOLANTE EN LA MEZCLA DE CONCRETO.....	91

4.2.2. VARIACIÓN DE LA EDAD DEL CONCRETO SOBRE LA CONSISTENCIA QUE GENERA LA CENIZA VOLANTE COMO ADICIONADO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS.....	92
4.2.3. PROPORCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONCRETO DE $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	94
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	99
ANEXOS.....	103

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 1. Operacionalización de variables.....	22
Cuadro N° 2. Principales componentes del cemento portland	46
Cuadro N° 3. Requerimientos de granulometría para el eagregado fino	51
Cuadro N° 4. Limites permisibles de contenidos y sustancias disueltas	52
Cuadro N° 5. Muestras para cada tratamiento en estudio	59
Cuadro N° 6. Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados del río Nuñoa	62
Cuadro N° 7. Peso específico de los agregados del río Nuñoa	63
Cuadro N° 8. Peso unitario de los agregados del río Nuñoa.....	64
Cuadro N° 9. Analisis químico de la ceniza volante	65
Cuadro N° 10. Componentes de la ceniza volante Tipo F	65
Cuadro N° 11. Cantidad de probetas utilizadas en los ensayos	66
Cuadro N° 12. Analisis de agregados del río Nuñoa.....	67
Cuadro N° 13. Volumen unitario de agua para el diseño de mezcla	68
Cuadro N° 14. Contenido de aire atrapado	69
Cuadro N° 15. Requerimiento de agua-cemento para e diseño de mezcla .	69
Cuadro N° 16. Contenido de agregado grueso	70

Cuadro N° 17. Corrección por humedad y absorción.....	72
Cuadro N° 18. Proporción del diseño de mezcla	73
Cuadro N° 19. Resultados de las pruebas a la compresión de concreto y para diferentes dosis de ceniza volante.....	79
Cuadro N° 20. Anáisis de varianza para lectura de resistencia	80
Cuadro N° 21. Prueba de Duncan para factor dosis de ceniza volante sobre lectura de resistencia.....	82
Cuadro N° 22. Prueba de Duncan para factor días de evaluación sobre lectura de resistencia.....	83
Cuadro N° 23. Desarrollo del Slúmp en el concreto.....	85
Cuadro N° 24. La proporción de mezcla en volumen para un $f'c=210$ kg/cm ²	88
Cuadro N° 25. La proporción en peso de los componentes del concreto	88
Cuadro N° 26. Concreto adicionado con un 5.00% de ceniza volante	88
Cuadro N° 27. Concreto adicionado de un 10.00% de ceniza volante.....	88
Cuadro N° 28. Concreto adicionado con un 15.00% de ceniza volante	89

ÍNDICE DE GRAFICOS

	Pág.
Figura N° 1. Lectura de Resistencia (kg/cm ²) por efecto del factor Dosis de ceniza volante.....	82
Figura N° 2. Lectura de resistencia (kg/cm ²) por efecto del factor Días de evaluación.....	84
Figura N° 3. Resistencia del concreto en función a la Dosis de ceniza volante por Días sobre lectura de resistencia.	90
Figura N° 4. Planta de generación termoeléctrica en Ilo (Moquegua) ENGIE – Energy - Ilo	111
Figura N° 5. Canteras de Agregados de la Localidad de Nuñoa – Melgar - Puno	111
Figura N° 6. Agregados Grueso, Agregado Fino, cemento Portland Tipo IP, Ceniza Volante para su preparación y proporciona miento de la mezcla	112
Figura N° 7. Pesado de Ceniza Volante para Agregar al cemento Portland Tipo IP	112
Figura N° 8. Adición de la Ceniza Volante en la elaboración de Concreto.	113
Figura N° 9. Elaboración de Briquetas, en diferentes proporciones de ceniza volante	113
Figura 10. Procedo de golpeo (25 golpes) para el asentado	114

Figura N° 11. Muestra de una Briqueta.....	114
Figura 12. Briquetas en proceso de evaluación	115
Figura N° 13. Equipo para rotura de Briquetas	115
Figura N° 14. Proceso de evaluación de briquetas	116
Figura N° 15. Rotura realizada en una briqueta.....	116
Figura N° 16. Ubicación de la cantera de agregados rio Nuñoa	117

ÍNDICE DE LOS ANEXOS

	Pág.
Anexo N° 1. Ensayo de compresión de probetas cilíndrica del concreto normal.....	103
Anexo N° 2. Ensayo de compresión de probetas cilíndricas con 5 % de ceniza volante.....	104
Anexo N° 3. Ensayo de compresión de probetas cilíndricas con 10 % de ceniza volante.....	105
Anexo N° 4. Ensayo de compresión de probetas cilíndricas con 15 % de ceniza volante.....	106
Anexo N° 5. Valores de resistencia para un concreto normal (D0).	107
Anexo N° 6. Valores de resistencia para un concreto con 5 % de ceniza volante (D1).	108
Anexo N° 7. Valores de resistencia para un concreto con 10 % de ceniza volante (D2).	109
Anexo N° 8. Valores de resistencia para un concreto con 15 % de ceniza volante (D3).	110
Anexo N° 9. Características físicas de los agregados	110
Anexo N° 10. Panel fotográfico	111

INTRODUCCIÓN

El concreto hasta el día de hoy sigue siendo el material de construcción más importante y más ampliamente utilizado por el hombre, por sus adecuadas propiedades ingenieriles, su bajo costo de producción, su bajo consumo de energía y sus ventajas ecológicas, forma parte del desarrollo de la humanidad desde tiempos inmemorables y es imposible concebir cubrir las demandas de construcciones actuales y futuras, de la población mundial sin su presencia y perfeccionamiento.

En la actualidad la incorporación de las cenizas volantes está condicionada por el tipo de cemento disponible en el mercado, en vez de condicionar el tipo de cemento a las cenizas disponibles. Esto resulta en especificaciones diseñadas para que las cenizas se ajusten a los cementos que están disponibles en el mercado. Para explotar adecuadamente las cenizas volantes que provee la industria, el cemento debería ser formulado para optimizar la actuación de la combinación en términos de consistencia, resistencia y durabilidad de los concretos.

Es evidente la necesidad de más investigaciones que exploren el alcance real de las cenizas volantes en la construcción. La influencia de la composición y propiedades físicas de los cementos en la durabilidad de los concretos con cenizas volantes no está bien definida.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Las estructuras de concreto constantemente están expuestas a deterioros importantes ya sean estas debido a la exposición constante al agua o que se hallen en un medio agresivo, actualmente el concreto es el material más usado en casi la mayoría de obras de construcción debido a que presenta mejores comportamientos estructurales, es así que en cualquier tipo de obra de concreto los cementos son los que generan un mayor costo en la obra. Por otro lado la ceniza volante, obtenida de la quema del carbón utilizado como combustible en la generación de energía eléctrica en los centrales termoeléctricas, es considerada como un contaminante y es un material destinado al relleno de tierra y la reducción de la energía para la producción y por ende disminución de la emisión de CO₂ y al mismo tiempo se reduce el consumo de materias primas, asociadas con la optimización del cemento en la producción del concreto, de manera que su utilización de la ceniza volante tiene beneficios ecológicos, y la mejora en la durabilidad de las estructuras fabricadas con estos materiales.

Cabe aclarar que las cenizas volantes en la actualidad están simplemente almacenadas al aire libre y en algunos casos están destinados

a los rellenos (botaderos), contaminando al medio ambiente, por lo que es necesario reusar dichos materiales en desuso para la central termoeléctrica de Ilo 21. Por arriba antes citada realizamos el presente trabajo para poder plantear una alternativa de reuso de dichos materiales (cenizas volantes) en la fabricación o elaboración de concretos de una resistencia adecuada y a un costo más económico con la reducción de cemento.

1.2. DELIMITACIONES DEL PROBLEMA

1.2.1. Delimitación espacial

En el presente trabajo de investigación se realizó en el ámbito de la localidad de Nuñoa, provincia de Melgar, región Puno, ya que el comportamiento del concreto en el estado fresco como endurecido dependerá básicamente de los elementos climáticos (Temperatura, humedad relativa, velocidad de viento, radiación solar, etc.).

1.2.2. Delimitación temporal

El desarrollo del trabajo de investigación, tuvo un tiempo de estudio comprendido en los meses de Junio a Noviembre del 2016, realizando el trabajo en dos etapas:

1. La primera etapa: Que comprendió desde la formulación del problema hasta la aprobación del plan de investigación.
2. La segunda etapa: Que comprendió en la evaluación y determinación de datos luego pasara al análisis e interpretación de resultados, las conclusiones, las recomendaciones, y la presentación del informe final.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.3.1. Problema general

- ¿Cómo influye la adición de la ceniza volante a diferentes proporciones en las propiedades mecánicas del concreto en la localidad de Nuñoa – Melgar - Puno?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cómo influirá la ceniza volante en diferentes proporciones, en su resistencia al concreto endurecido?
- ¿De qué manera afectará en su consistencia al concreto fresco, las diferentes proporciones de ceniza volante?
- ¿Cuál será la proporción óptima de la ceniza volante en el diseño de mezcla del concreto estructural?

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivos generales

- Evaluar los efectos de adición de la ceniza volante a diferentes proporciones en las propiedades mecánicas del concreto en la localidad de Nuñoa – Melgar – Puno.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar las resistencias del concreto endurecido a diferentes proporciones de ceniza volante en la mezcla de concreto.
- Experimentar la variación de la consistencia del concreto fresco en diferentes edades que genera la ceniza volante.

- Determinar la proporción óptima de la adición de ceniza volante en la elaboración del concreto de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

1.5. FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. Hipótesis general

- La adición de la ceniza volante a diferentes proporciones produce efectos en las propiedades mecánicas del concreto en la localidad de Nuñoa – Melgar Puno.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Con la adición a diferentes proporciones de la ceniza volante, se logra obtener diferentes resistencias en el concreto endurecido.
- El concreto fresco se ve directamente afectado por la ceniza volante generando cambios en la consistencia del concreto.
- Una de las proporciones de la ceniza volante tiene mejor efecto en la resistencia del concreto.

1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Variables independiente (X)

- Ceniza volante.

1.6.2. Variable dependiente (Y)

- Resistencia del concreto endurecido.
- Consistencia del concreto fresco
- Proporción óptima del concreto.

1.6.3. Operacionalización de variables

Cuadro N° 1.
Operacionalización de variables

Variable	Indicadores	Escala de medición	Instrumento
V.I. Ceniza Volante	Dosis de diferentes proporciones	Proporción de la ceniza volante	Briquetas muestreo
V.D. - Resistencia del concreto - Consistencia del concreto - Proporción óptima del concreto	- Dureza - Tiempo - Cantidad	- kg / cm ² - Días - %	Informe de Laboratorio de concreto.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Barrantes y Holguín (2015), en una investigación sobre la Influencia del porcentaje de reemplazo de ceniza volante por cemento, sobre la resistencia a la compresión y absorción en la fabricación de adoquines de tránsito liviano, determinó que el porcentaje de ceniza volante incremento la resistencia a la compresión hasta un 20% con un valor de 361.33 Kg/cm² a mayores porcentajes la resistencia disminuyo hasta un valor mínimo de 189.34 Kg/cm² correspondiente al 50% de reemplazo; comparando todos los resultados obtenidos se determinó que hasta un 30% de reemplazo cumple con el rango de resistencia que establece la norma NTP 399.611. Además, se determinó que los mejores porcentajes de reemplazo de ceniza volante en adoquines modificados se encontraron en el rango de 10 a 30% debido a que presentan mejores resultados en la resistencia a la compresión y la absorción.

Cifuentes y Ferrer (2006), en un estudio realizado a cerca del comportamiento mecánico a edades tardías del concreto hidráulico con adición de cenizas volantes de termopaipa, encontró que, el esfuerzo a la compresión para la mezcla de concreto modificado (15 % de ceniza volante)

a los 28 días fue de 275.22 kg/cm² (3892.6 p.s.i), representando un incremento del 2.33% comparado con la muestra de concreto normal, cuyo valor a los 28 días fue de 268.81 kg/cm² (3802 p.s.i). Los valores máximos de resistencia a la compresión, medidos a los 150 días, fueron de 278.21 kg/cm² (3935 p.s.i) para la muestra CN y de 318.44 kg/cm² (4504 p.s.i) para la muestra CM, lo cual representa un incremento del 10.85% y del 26.87% respectivamente con respecto a la resistencia promedio requerida f'_{cr} (3550 p.s.i).

Duran y Velásquez (2016), en una investigación al estudiar la aptitud de concretos con reemplazo parcial al cemento portland por cenizas volantes, encontró que, la muestra adicionada con 5% de ceniza volante (5%CV) alcanzó una resistencia de 26,1Mpas, con lo que se puede decir, que alcanzó un 9,16% más de la resistencia esperada, lo que significa que cumplió satisfactoriamente con los resultados de resistencia esperada. La muestras adicionada con 10% de ceniza volante (10%CV) alcanzaron una resistencia de 22,97Mpas, lo que significa que logró 95,71% de la resistencia de diseño; aunque para este caso, con el porcentaje de adición no se alcanzó la resistencia esperada, se logró alcanzar una alta resistencia, y considerando un margen de error del 5%, esta resistencia relativamente cumple. Y la muestras adicionada con 15% de ceniza volante (15%CV) alcanzaron una resistencia de 18,68Mpas, lo que significa que logró un 77,85% de la resistencia de diseño; para este caso, se registra una disminución considerable con respecto a las adiciones de 5% y 10%, con lo

cual se considera, que no es apropiado reemplazar este porcentaje para concretos de alta resistencia.

La comisión de electricidad de New South Wales (1960) llevó a cabo programas de pruebas limitadas en 1959 y 1960 en concreto conteniendo ceniza volante para proporcionar información para la dosificación de la mezcla para usarse en trabajos civiles en la central eléctrica de Munmorah. Las pruebas de 1959 en la central eléctrica de Wallerawang abarcaron mezclas de ensayo con reemplazos variables de cemento por ceniza volante en un fundamento de "peso por peso" y se obtuvieron resultados prometedores y se construyeron algunos trabajos de menor importancia usando 20% de cemento sustituido.

Para la construcción de la central eléctrica Munmorah que fue anunciada, se usó la ceniza volante en el concreto para todos los trabajos del lugar, y mediante pruebas más extensas para determinación de las adecuadas mezclas de concreto, se tuvo como resultado todo el concreto vaciado en Munmorah, en donde se usó (59 kg/m^3), este resultado logró un reemplazo típico de cemento del 15% junto con algún reemplazo de arena, donde las resistencias del concreto fueron especificadas a 60 días para sacar una ventaja de la resistencia del concreto ganada. Pruebas más amplias fueron llevadas a cabo en Munmorah, con la cual ya se hubo suficiente experiencia en el uso de ceniza volante en concreto para aprobar las mezclas usando hasta 83 Kg/m^3 de ceniza volante.

ECOBA (2001), menciona que la combustión del carbón producido en Europa es alrededor de 55 millones de toneladas de residuos sólidos de combustión y como máximo, el 30% de la producción anual de cenizas volantes es utilizada actualmente en la industria del cemento y del concreto, pero ambas aplicaciones tienen un valor económico relativamente bajo.

Rodríguez (1988), menciona que la cenizas volantes son compuestos en los que prevalecen los componentes minerales, la incorporación de las cenizas al concreto reduce su costo y mejora algunas de sus propiedades del concreto como, su impermeabilidad y su resistencia al ataque químico.

2.2. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.

2.2.1. Justificación técnica

El uso de las cenizas volantes permitirá la reducción de las emisiones de CO₂ al sustituir cemento por cenizas volantes, además los costos en la fabricación de los concretos debido a la reducción de consumo de cemento que normalmente se emplea, de esta forma se va evaluando la influencia de las cenizas volantes, mejorando la resistencia a la compresión, que es una de las principales propiedades que se consideran en la fabricación de de concreto.

Actualmente, el concreto es el material más usado en la mayoría de las obras de construcción debido a su buen comportamiento estructural, gracias a los componentes que presenta en su fabricación; sin embargo las

diferentes obras se emplean volúmenes grandes de concreto, por lo tanto nos demanda un mayor costo en la construcción, motivo por el cual se busca disminuir el uso del cemento utilizando adiciones como la ceniza volante de carbón para reemplazar al cemento y una vez combinados con los componentes del concreto sean capaces de generar las mismas o mejores resistencias en el concreto de manera que exista la reducción de costos en la adquisición de materiales.

2.2.2. Justificación práctica

La adición de ceniza volante al concreto asegura muchos beneficios se puede resaltar las propiedades del concreto fresco a través de una demanda reducida de agua, una mejor cohesión, también reduce la temperatura, durante el curado, lo que ayudará a disminuir el agrietamiento térmico; y en el concreto endurecido, la incorporación de la ceniza volante puede mejorar la durabilidad del concreto, reduce la permeabilidad y contribuye a la ganancia de resistencia a largo plazo del concreto.

El aprovechamiento de un subproducto que generan las centrales termoeléctricas, los cuales generan un impacto negativo al medio ambiente y convertirlo en un elemento de beneficio en la construcción.

En la actualidad contamos en la región sur del país con un material que es considerado un desecho del proceso de generación de energía de la central termoeléctrica de Ilo (ceniza volante de carbón) el cual es trasladado a las áreas destinadas a su almacenaje y no es muy utilizado en nuestro país

debido a la falta de difusión acerca de las facultades que este materia, la cual podría destinarse como parte del material para la construcción del concreto, ya que los países con mayor desarrollo tecnológico en el campo de la construcción, utilizan este subproducto para la elaboración de cementos y concretos adicionados; es por lo tanto de nuestro interés, fomentar el uso de este material.

La información que se generada por la investigación promoverá y motivará para posteriores estudios de mayor alcance, que mediante un análisis de veredictos idóneos en el tema, indiquen que el uso de los materiales residuales en la industria de la construcción es posible en la región y el resto del país.

2.2.3. Importancia

Con la presente investigación, se pretende conocer mediante un estudio la mejora de las propiedades de los concretos principalmente de la Localidad de Nuñoa, que en los últimos años se ha visto afectado por la mala calidad de la elaboración de los concretos. La importancia de elaborar concretos, radica en que se cumpla de la mejor manera con los requisitos adecuados de los concretos y también que cumpla con las características de resistencia y durabilidad en el tiempo a la tracción de los medios de transporte público en los concretos.

2.3. BASES TEÓRICAS

Podemos citar como referencia que en el año de 2007, en la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma de Nuevo León, ha desarrollado un estudio de evaluar la influencia del uso de la ceniza volante con propiedades puzolánicas en la trabajabilidad del concreto y en su calidad, en términos de su resistencia a la compresión y de los niveles de contracción por secado; el objetivo del estudio consistió en determinar el consumo óptimo de ceniza volante para obtener la máxima resistencia a la compresión en concretos con una consistencia dada, así como evaluar los niveles de contracción por secado.

2.3.1. Procesos de generación de la ceniza volante

Bonilla (1996), menciona que las propiedades y composiciones de las partículas de la ceniza volante dependen de la estructura y composición del carbón y del proceso de combustión para dicha formación. Las cenizas volantes son principalmente de dos clases F y C, reconocidas por la ASTM para uso en concreto y son derivados de diferentes tipos de carbón.

Giraldo (2006), indica que el carbón a utilizar en las centrales termoeléctricas es triturado, pulverizado y posteriormente introducido dentro de la cámara de combustión. Los componentes orgánicos son oxidados y volatilizados durante la combustión mientras que una gran parte de la materia mineral es transformada en subproductos residuales sólidos: ceniza volante y escorias, la cenizas volantes están compuestas por partículas que debido a su pequeño tamaño son arrastradas por el flujo de gases que se

generan durante la combustión del carbón. Mientras que las escorias constituyen la parte del subproducto residual que no puede ser arrastrado por dicho flujo gaseoso y caen depositadas en el fondo de la cámara de combustión.

a) EL carbón.

Quiroz (2005), menciona que el carbón es una roca sedimentaria, combustible de origen orgánico (compuesta principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno) formada a partir de vegetación, el cual ha sido consolidado entre otros estratos de rocas para formar capas de carbón transformadas por los efectos combinados de acción microbiana, presión y calor, durante un considerable período de tiempo.

De todos los combustibles fósiles, el carbón es por mucho el más abundante en el mundo, no solamente existen grandes reservas, sino que también están geográficamente esparcidas en más de cien países en todos los continentes y las relaciones actuales de reservas de carbón son aproximadamente cuatro veces las reservas de petróleo.

En el Perú los principales yacimientos carboníferos, presenta un interesante potencial de reservas probadas de carbón mineral en las Cuencas de Alto Chicama, Santa, Oyón y Jatunhasi.

Bonilla (1996), indica que la importancia del carbón radica en que es el combustible fósil más abundante, seguro y de suministro garantizado en el mundo y puede utilizarse en forma limpia y económicamente:

- **Abundante**, las reservas de carbón son extensas y están presentes en muchos países; en la actualidad el carbón se explota en más de 50 países.
- **Seguro**, el carbón es estable y por tanto es el combustible fósil más seguro desde los puntos de vista de su transporte, almacenamiento y utilización.
- **Limpio**, usando tecnologías disponibles, puede ahora quemarse el carbón limpiamente en todo el mundo.
- **Económico**, a nivel mundial el carbón es la principal fuente de energía para la generación eléctrica en el mundo entero.

Calleja (1983), menciona que el carbón ha sido usado como una fuente de energía por cientos de años ha sido comercializado internacionalmente desde la época del Imperio Romano. El carbón no sólo suministró la energía que impulsó la revolución industrial del siglo XIX, sino que también lanzó la era eléctrica en el presente siglo. Es así que el carbón provee actualmente cerca del 40% de la electricidad producida mundialmente, así muchos países son dependientes del carbón; en el año 2002: Polonia (95%), Sudáfrica (93%), Dinamarca (77%), Australia (83%), Grecia (69%), China (75%), Alemania (53%) y los EE UU (53%).

b) Origen del carbón

El carbón en el Perú, el carbón proviene de restos de vegetación formados en tiempos geológicos que originalmente se acumularon como plantas en pantanos o fueron depositados en lagunas la acumulación de limos y otros sedimentos, junto con movimientos en la corteza terrestre enterraron estos pantanos y turberas en algunos casos a una gran profundidad y a medida que iban quedando enterradas, las plantas fueron sometidas a elevadas temperaturas y presiones, las cuales causaron cambios físicos y químicos en la vegetación, transformándolas, con el correr de los tiempos en carbón es así que inicialmente la turba precursora del carbón fue convertida en lignito o carbón pardo, que son tipos de carbón con madurez orgánica baja y luego de muchos millones de años, la continuidad de los efectos de la temperatura y presión produjo cambios adicionales en el lignito, incrementando progresivamente su madurez y transformándolo al rango conocido como carbones sub bituminosos.

A medida que este proceso fue ocurriendo, una serie de cambios químicos y físicos provocan que el carbón se vuelva más duro y maduro, punto en el cual se le clasifica como bituminoso o carbón duro debido a los movimientos tectónicos de la corteza terrestre, a las altas presiones y temperaturas sometidas y que con el transcurso del tiempo, forman al carbón como le conocemos. Bajo las condiciones adecuadas, el incremento progresivo en la madurez orgánica continua, para finalmente formar la antracita.

c) Contenido de Cenizas.

El contenido de ceniza es el material combustible del carbón, en formas de materias minerales en el crecimiento de los vegetales iniciales, materiales extraños que penetraron en la yeta durante su formación o rocas atrapadas durante el proceso de extracción.

La ceniza es el material inorgánico e inerte que acompaña al carbón, su presencia por tanto, rebaja el poder calorífico en la práctica el elemento más importante a controlar es el contenido de azufre.

Cuando se quema carbón, las emisiones de azufre corroen los tubos de las calderas y eventualmente escapan al medio ambiente. Por este motivo, la normativa ambiental y en definitiva los clientes, controlan constantemente los porcentajes de azufre contenidos en el carbón.

d) Oxígeno

La cantidad de oxígeno presente en el carbón afecta sus propiedades. El aumento y reduce el poder calorífico, además de conservar un porcentaje más elevado de humedad.

e) Nitrógeno

El contenido de nitrógeno en los carbones varía entre 1 y 2,5%. Si se destila o carboniza el carbón, alrededor del 15% de nitrógeno se transforma en amoníaco. El nitrógeno del carbón, junto con el nitrógeno del aire para combustión, es el causante de las emisiones de NO₂. Los NO₂ térmicos

formados por el nitrógeno del aire son una función de la temperatura de la llama.

f) Azufre

Se encuentra en forma de pirita, como compuestos orgánicos y como sulfatos (CaSO_4). En algunos casos conviene distinguir y determinar la proporción de azufre fijo y volátil. Si el carbón se destina a usos metalúrgicos, el azufre juega un papel importante, ya que se une al metal que se beneficia, afectando sus propiedades.

El azufre orgánico no se puede eliminar por procedimientos mecánicos, mientras que la pirita en láminas o escamas puede separarse, según sea el grado de trituración o del tamaño en que se encuentre el carbón, se obtienen fundiciones sulfurosas siendo el azufre difícil de eliminar en la fabricación de aceros.

g) Gases

El carbón absorbe cantidades considerables de gases, principalmente metano y otros hidrocarburos saturados.

h) Energía Específica.

Representa la cantidad de calor que se libera en combustión completa por cada unidad de material quemado. Este parámetro está íntimamente ligado con la cantidad de humedad y de cenizas, así como de la composición de la materia orgánica.

Las variedades de carbón son: carbones lignítico, carbón bituminoso, carbón sub bituminoso, antracita.

Bonilla (1996), menciona sobre la clasificación general y básica del carbón es por rango o categoría, desde turba y lignitos en el extremo inferior de la escala, pasando por los carbones bituminosos hasta llegar a la antracita en el extremo superior que por lo general, cuanto más alto sea el rango del carbón, mayor será su edad, contenido de carbono y poder calorífico, de igual modo más bajo será su contenido de hidrógeno y materias volátiles.

Las normas ASTM fijan un estándar en la clasificación de carbones, esta norma define como carbones de bajo rango aquellos cuyo poder calorífico bruto, base húmeda sea menor a 6.390 kcal/kg., en este rango están los carbones denominados sub bituminosos y los lignitos. En los carbones de alto rango, con un poder calorífico mayor a 6.390 kcal/kg., se incluyen los carbones bituminosos y antracitas.

2.3.2. La ceniza volante de carbón: Formación y composición química

Rivva (2008), define las cenizas como el residuo finamente dividido resultante de la combustión del carbón, ya sea este en trozos o en polvo, el cual es transportado desde su almacenamiento por los gases de combustión.

Quiroz (2005), menciona que las cenizas volantes son finos polvos heterogéneos que consisten principalmente en partículas vítreas esféricas con contenido variable de sílice, alúmina, y óxido férrico.

La norma ASTM C 618 categoriza a las cenizas por su composición química, de acuerdo a los contenidos de hierro, aluminio y sílice (expresados en forma de óxidos).

Calleja (1983), dice que las cenizas de la Clase F son normalmente producidas por carbón con alto calor de energía, tales como los carbones bituminosos y contienen más del 15% de óxido de calcio.

Las cenizas de la Clase C sub-bituminosas típicamente contienen más del 20% de óxido de calcio y tienen propiedades cementantes y puzolánicas.

2.3.3. Formación de la ceniza volante.

Umaña (2002), indica que las cenizas volantes son producidas como un subproducto del quemado del carbón, el cual previamente ha sido triturado y molido a una fineza del 70% al 80% que pasa la malla N° 200; es así que en nuestro país, las cenizas se obtienen principalmente de la planta termoeléctrica de la ciudad de Ilo y se emplean en concreto premezclado.

La ceniza volante de la central termoeléctrica de Ilo están clasificadas como cenizas del tipo C y F, este último posee bajo contenido de calcio pero

contienen grandes proporciones de silicato de altos contenidos de sílice, más fases cristalinas de baja reactividad, magnetita y cuarzo.

Calleja (1983), menciona que una vez que el Tolvin completa su capacidad que es de 0.5 a 1.5 m³ la ceniza volante es trasladada a la cancha de almacenamiento, en ella una vez que se trae la ceniza volante se procede a compactarla con agua para así poder tratar de evitar que se disperse en el aire.

2.3.4. Composición química de las cenizas volantes.

Umaña (2002), dice que las cenizas volantes son complejas en su fase de composición química, es decir: sílica (SiO₂), óxido de aluminio (Al₂O₃), óxido férrico (Fe₂O₃), óxido de calcio (CaO), óxido de magnesio (MgO) y trióxido de azufre (SO₃).

Según la norma ASTM C-618, cita actualmente que para las clases F y C, las cenizas volantes clase C contienen los mismos tres constituyentes, pero en una proporción menor, entre 50% y 70%.

2.3.5. Ceniza volante clase F

Umaña (2002), indica que la ceniza volante es utilizado para el incremento de la impermeabilidad, resistencia química y mecánica, y cohesividad del concreto, las cenizas volantes de carbón de clase F (bajo contenido de calcio) contienen grandes proporciones de silicato de altos contenidos de sílice, más fases cristalinas de baja reactividad, magnetita y cuarzo. En un peso similar, poniendo como base las cenizas volantes de

carbón de clase C (de lignita y carbones subbituminosos) ganan más esfuerzos temprano que la ceniza volante de clase F (normalmente de carbones bituminosos) debido a factores químicos y físicos. La composición química de los cristales en las cenizas volantes de carbón varía considerablemente, afectando su reactividad.

Criado (2006), indica también la correspondiente estructura de los cristales varía desde aquellas de fuerte enlazamiento caracterizando altos cristales silicios en muchas cenizas volantes de carbón de clase F, hasta muchas estructuras sustituidas que contienen grandes proporciones de modificadores de la red en cenizas volantes de clase C constituyentes de tierra alcalina, álcali y cristales aluminosilicatos. Los cristales con alto contenido de sílica son intrínsecamente menos reactivos con agua que el resto de cristales. En consecuencia, las cenizas volantes de carbón de clase F requieren contenidos más altos de cristales para ser tan efectivos en concreto como las cenizas volantes de carbón de clase C. Los cristales con alto contenido de sílica generalmente reaccionan más lentamente con el hidroxil, álcali e iones de calcio del álcali y los hidróxidos de calcio presentes.

El contenido de óxido de sílice de la ceniza, resulta principalmente del mineral arcilloso y el cuarzo presente en el carbón, donde las antracitas y los carbones bituminosos contienen a menudo un alto porcentaje de minerales arcillosos en su fracción incombustible; por lo tanto las cenizas con alto

rango de carbón son ricas en sílice. El contenido de óxido de hierro, indica la presencia de materiales que contienen fierro en el carbón.

Cenizas de alto rango, tales como antracitas y carbón bituminoso, contienen pequeña cantidad de material no combustible, mostrando menos del 5% de óxido de calcio en la ceniza. Carbones de baja calidad pueden producir cenizas con un 35% de CaO.

El óxido de magnesio en las cenizas, es un derivado de constituyentes orgánicos minerales ferromagnesianos, y algunas dolomitas. Estos constituyentes son mínimos en carbones de alta calidad, pero pueden dar por resultado un contenido de óxido de magnesio en exceso del 7% en cenizas sub-bituminosas y algunos lignitos.

Las cenizas de la Clase C generalmente tienen valores de pérdidas por calcinación menores del 1%, pero las cenizas de la Clase F pueden variar en porcentaje hasta valores tan altos como el 20%. Las cenizas empleadas en el concreto generalmente tienen menos del 6% de LOI; sin embargo, la norma ASTM C 618 permite el empleo de cenizas de la clase F hasta con 12% de LOI si un registro de comportamiento adecuado o resultados de ensayos de laboratorio indican que ello es posible. Elementos menores que pueden estar presentes en las cenizas incluyen cantidades variables de titanio, fósforo, plomo, cromo y estroncio.

- **Propiedades físicas.-** En las cenizas volantes la principal propiedad física lo constituye la finura.

- **Finura.-** Las partículas individuales de cenizas volantes de carbón están en el rango de menos de 1 μm

La norma ASTM C-618 es la especificación más ampliamente utilizada. Abarca el uso de la ceniza volante, la puzolana natural o la adición mineral al concreto y define tres clases de puzolanas: N, F y C.

- **Clase N:** Puzolanas naturales calcinadas o sin calcinar, como algunas tierras diatomáceas; horstemos 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 subbituminoso o lignito. Esta clase de ceniza volante además de tener propiedades puzolánicas tiene propiedades cementicias.

-

2.3.6. Interacción en la hidratación del cemento y la ceniza volante

Criado (2006), menciona la hidratación como al conjunto de reacciones químicas entre el agua y los componentes del cemento, (en este caso un adicionado) que llevan consigo el cambio del estado plástico al endurecido con las propiedades inherentes a los nuevos productos formados. Los componentes ya mencionados anteriormente, al reaccionar con el agua forman hidróxidos e hidratos de calcio complejos.

Umaña (2002), indica la hidratación del cemento y las reacciones puzolánicas en mezclas de agua con cemento Portland y la ceniza volante no proceden independientemente, la velocidad de hidratación del cemento es acelerada por la presencia de la ceniza volante durante muchas de las reacciones pero puede ser retardada inicialmente el material de mayor interés es la pasta de cemento, la cual es el producto de la reacción de cemento con agua.

En presencia de agua, los silicatos y aluminatos del cemento Portland forman productos de hidratación o hidratos, que resultan en una masa firme y dura: la pasta endurecida de cemento.

Según el ICG, menciona que la hidratación es el proceso de reacción química del cemento en presencia del agua, la hidratación requiere de presencia de humedad condiciones de curado favorables y tiempo.

2.3.7. Desarrollo de la resistencia, influencia de la temperatura y curado.

Abanto (1997), indica que para obtener un concreto de buena calidad de una mezcla adecuada debe seguirle el curado en un ambiente apropiado, durante las primeras etapas de endurecimiento. Curado es el nombre que se le da los procedimientos empleados para promover la hidratación del cemento y el desarrollo de la resistencia del concreto.

García (2003), menciona que la influencia de la temperatura en el curado es importante porque le permite un mayor desarrollo de la resistencia inicial, a medida que la temperatura aumenta.

Criado (2006), menciona que los curados constituyen productos que se añaden en la superficie del concreto vaciado para evitar la pérdida de agua y asegurar que exista la humedad necesaria para el proceso de hidratación. El propósito del curado a temperatura normal es mantener el concreto saturado o casi tan saturado como sea posible, hasta que el espacio originalmente lleno de agua en la pasta de cemento fresco se haya ocupado hasta el nivel deseado de los productos de hidratación del cemento.

El ICG, menciona como tiempo de curado al periodo durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperatura tales como para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada y el ACI 318, menciona realizar pruebas de la eficiencia del curado para obtener concretos de una buena resistencia.

García (2003), indica que la necesidad de curar surge del hecho de que la hidratación del cemento puede tener lugar sólo en capilares llenos de agua. Es por esto que debe prevenirse la evaporación del agua de los capilares más aun, la pérdida interna de agua por auto desecación tiene que ser remplazada con agua desde el exterior, es decir, debe tener lugar el ingreso del agua dentro del concreto. Una vez que el concreto ha fraguado,

puede proveerse el curado de humedad manteniéndola en contacto con agua, sea rociando, empapando cubriendo el concreto con arena, tierra, aserrín o paja mojados. Pueden utilizarse esferas de algodón o cáñamo mojadas periódicamente o alternativamente, una cubierta absorbente con acceso al agua, para colocarse sobre el concreto. Un suministro continuo de agua es, desde luego, más eficaz que uno intermitente.

2.3.8. Tipos de concreto

- a) **Concreto simple.-** Es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso y agua. Donde el agregado grueso deberá estar totalmente envuelto por la pasta de cemento y el agregado fino deberá llenar los espacios entre el agregado grueso y a la vez deberá estar recubierto por la misma pasta.
- b) **Concreto armado.-** Se denomina así cuando el concreto simple lleva armaduras de acero como refuerzo. Que está diseñado bajo la hipótesis de que los materiales trabajan conjuntamente, actuando la armadura para soportar los esfuerzos de tracción o incrementar la resistencia a la compresión del concreto.
- c) **Concreto estructural.-** Se denomina así al concreto simple, cuando este es dosificado, mezclado, transportado y colocado de acuerdo a las especificaciones precisas que garanticen una resistencia mínima pre establecido en el diseño y una durabilidad adecuada.
- d) **Concreto ciclópeo.-** Se denomina así cuando el concreto simple que esta complementado con piedras desplazadoras de tamaño máximo de 10", cubriendo hasta el 30 % como máximo, del volumen total. Las

piedras deben ser introducidas previa selección y lavado con el requerimiento indispensable de que cada piedra, en su ubicación definitiva debe estar totalmente rodeada de concreto simple.

- e) **Concretos livianos.-** Son preparados con agregados livianos y su peso unitario varía desde 400 a 1700 kg/ m³.
- f) **Concretos normales.-** Son preparados con agregados corrientes y su peso unitario varia de 2300 a 2500 kg/ m³. Según el tamaño máximo del agregado. El peso promedio es de 2400 kg/ m³.
- g) **Concretos pesados.-** Son preparados utilizando agregados pesados, alcanzan el peso unitario valores entre 2800 a 6000 kg/m³. La aplicación principal de los concretos pesados constituye la protección biológica contra los efectos de las radiaciones nucleares, también se utiliza en paredes de bóveda y cajas fuertes, en pisos industriales y en la fabricación de contenedores para desechos reactivos.
- h) **Concreto premezclado.-** Es el concreto que se dosifica en planta, que puede mezclado en la misma o en camiones mezcladores y que es transportado a obra.
- i) **Concreto prefabricado.-** Elementos de concreto simple o armado fabricados en una ubicación diferente a su posición final en la estructura.
- j) **Concreto bombeado.-** Concreto que es impulsado por bombeo, a través de tuberías hacia su ubicación final.

2.3.9. Componentes del concreto.

Se ha esbozado en forma muy superficial los ingredientes del concreto, las características de los componentes el concreto son: Cemento

Portland (7% - 15%); agua (15% - 22%); agregados (60% - 75%); aire (1% - 3%) y aditivos, adicionados.

2.3.10. Elaboración del cemento portland

De acuerdo a las bibliografías revisadas de cemento portland ésta hecho básicamente de la combinación de un material calcáreo como piedra caliza, yeso y una base de sílice y alúmina, como arcilla o esquistos.

Molina (2008), indica que el proceso de manufactura consiste esencialmente en moler las materias primas hasta lograr un polvo muy fino, mezclarlas perfectamente en proporciones establecidas y quemarlas en un gran horno rotatorio a una temperatura de aproximadamente de 1400°C-1450°C. Al material parcialmente fundido que sale del horno se le denomina “clinker” (pequeñas esferas de color negruzco, duras y de diferentes tamaños). El Clinker enfriado y molido a polvo muy fino y se le agrega un poco de yeso entre el 3-4%, para regular la fragua del cemento, este producto resultante es el cemento portland comercial que se usa en todo el mundo.

2.3.11. Composición del cemento portland.

Molina (2008), menciona los componentes principales del cemento son los que definen el comportamiento del cemento hidratado y que se detallara a continuación:

Cuadro Nº 2.

Principales componentes del cemento Portland.

Nombre del Componente	Composición óxida	Abreviatura
Silicato Tricálcico	3 CaO.SiO ₂	C ₃ S
Silicato Dicálcico	2 CaO. SiO ₂	C ₂ S
Aluminato Tricálcico	3 CaO.AlO ₃	C ₃ A
Alumino ferrato	4 CaO.Al ₂ O ₃ . Fe ₂ O ₃	C ₄ AF
Yeso	CaSO ₄ · 2H ₂ O	SO ₃

Fuente: *Tópicos de Tecnología del Concreto, Pasquél (2000)*.

- a) **Silicato Tricálcico** (3CaO.SiO₂ → C₃S → 30% a 50% → Alita).- Define la resistencia inicial (en la primera semana) y tiene mucha importancia en el calor de hidratación.
- b) **Silicato Dicálcico** (2CaO.SiO₂ → C₂S → 15% a 30% → Belita).- Define la resistencia a largo plazo y tiene incidencia menor en el calor de hidratación.
- c) **Aluminato Tricálcico** (3CaO.Al₂O₃ → 4% a 12% → C₃A).- Aisladamente no tiene trascendencia en la resistencia, pero con los silicatos condiciona el fraguado violento actuando como catalizador, por lo que es necesario añadir yeso en el proceso (3% - 6%) para controlarlo. Además es responsable de la resistencia del cemento a los sulfatos ya que al reaccionar con estos produce sulfoaluminatos con propiedades expansivas, por lo que hay que eliminar su contenido.
- d) **Ferro Aluminato Tetracálcico** (4CaO.Al₂O₃.Fe₂O₃ → C₄AF → 8% a 13% → Celita).- Tiene trascendencia en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.

e) El Yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).- Regula la velocidad con que se desarrolla el endurecimiento del cemento debe ser controlada dentro de ciertos límites para que éste sea un producto útil en la construcción. Si las reacciones fuesen demasiado rápidas, el concreto endurecería rápidamente y no podría ser transportado y colocado sin ocasionarle daño. Si las reacciones fueran demasiado lentas, la demora en adquirir resistencia sería objetable, por lo tanto la velocidad de reacción debe controlarse. Esto se logra dosificando cuidadosamente la cantidad de yeso que se agrega al clinker durante la molienda.

2.3.12. Fraguado inicial.

Moreno (2002), indica que la condición de la pasta de cemento en que se aceleran las reacciones químicas, empieza el endurecimiento y la pérdida de la plasticidad, midiéndose en términos de la resistencia a deformarse. Es la etapa en que se evidencia el proceso exotérmico donde se genera el denominado calor de hidratación, que es consecuencia de las reacciones químicas descritas.

Este periodo dura alrededor de tres horas y se producen una serie de reacciones químicas que van haciendo más estable con el tiempo al gel. En esta etapa la pasta puede remezclarse sin producirse deformaciones permanentes ni alteraciones en la estructura que aún está en formación.

2.3.13. Fraguado Final

Moreno (2002), indica que se obtiene al término de la etapa de fraguado inicial, caracterizándose por endurecimiento significativo y deformaciones permanentes. La estructura del gel está constituida por el ensamble definitivo de sus partículas endurecidas.

2.3.14. Endurecimiento.

Moreno (2002), indica que se produce a partir del fraguado final y es el estado en que se mantienen e incrementan con el tiempo las características resistentes, la reacción predominante es la hidratación permanente de los silicatos de calcio, y en teoría continua de manera indefinida. Es el estado final de la pasta, en que se evidencian totalmente las influencias de la composición del cemento.

2.3.15. Normas de calidad del cemento.

Moreno (2002), menciona que en obras de cierta magnitud es normal que se indique la realización de pruebas en el cemento a usar a lo largo de la ejecución de la obra.

- a) Análisis químicos.-** Se realiza para determinar cuantitativamente los óxidos, álcalis y residuos del cemento y están basados en la norma ASTM C114.
- b) Finura.-** Superficie específica en $\text{cm}^2/\text{gr.}$, está basado en la ASTM C 115-58. Los dos aparatos más comunes para medir la finura del cemento portland son el turbidímetro Wagner y el aparato de Polaine para determinar la permeabilidad del aire. El turbidímetro se basa en la teoría

de la sedimentación para obtener la distribución de las partículas en tamaños con la que se calcula la superficie específica. Se dispersa una muestra de cemento con kerosene en una probeta de vidrio y se mide la velocidad de sedimentación por los cambios en la intensidad de luz que pasa a través de la suspensión. En el método de permeabilidad el aire se determina la superficie específica haciendo pasar la cantidad definida de aire por una muestra preparada. La cantidad de aire que pasa es una función del tamaño y la distribución de las partículas.

c) Tiempo de fraguado.- Se refiere al cambio del estado fluido al estado rígido. El fraguado se debe principalmente a la hidratación selectiva del aluminato tricálcico y del silicato tricálcico, acompañada de una elevación de la temperatura de la pasta de cemento y están basados en la norma ASTM C266. El fraguado inicial corresponde a un incremento rápido, y el fraguado final a la temperatura pico. Los fraguados inicial y final deben diferenciarse del fraguado falso, que ocurre a veces a pocos minutos de mezclarse con agua. Durante un fraguado falso no se desprende calor alguno y el concreto puede remezclarse sin añadir agua.

d) Resistencia.- Para determinar la resistencia del cemento se emplea un mortero de cemento-arena y en algunos casos, concreto de proporciones prescritas, hecho con materiales específicos y en condiciones estrictamente controladas.

2.3.16. Tipos de cemento portland.

Según ASTM C 150, Menciona los tipos de cemento portland:

- a) Cemento Tipo I.-** Normal es el cemento Pórtland destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo.
- b) Cemento Tipo II.-** Se moderada resistencia a los sulfatos, es el cemento Pórtland destinado a obras de concreto en general y obras expuestas a la acción moderada de sulfatos o donde se requiera moderado calor de hidratación, cuando así sea especificado.
- c) Cemento Tipo III.-** Alta resistencia inicial, como cuando se necesita que la estructura de concreto reciba carga lo antes posible o cuando es necesario desencofrar a los pocos días del vaciado.
- d) Cemento Tipo IV.-** Se requiere bajo calor de hidratación en que no deben producirse dilataciones durante el fraguado.
- e) Cemento Tipo V.-** Usado donde se requiera una elevada resistencia a la acción concentrada de los sulfatos.
- f) Cemento Pórtland Puzolánico tipo IP.-** Donde la adición de puzolana es del 15 – 40% del total.
- g) Cemento Pórtland Puzolánico tipo I (PM).-** Donde la adición de puzolana es menos del 15%.

Así también existen otros tipos de cemento como son: Cemento Portland Blanco, cemento de albañilería, cementos aluminosos, cementos compuestos y otros.

2.3.17. Clases de los agregados

Moreno (2002), indica que el Agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias de perfil preferentemente angular, duras, compactas y resistentes.

Criado (2006), indica que el agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica u otras sustancias dañinas.

Cuadro N° 3.

Requerimientos de granulometría para el agregado fino

Malla	% que pasa	
3/8"	100	
N°4	95 –	100
N°8	80 –	100
N°16	50 –	85
N°30	25 –	60
N°50	10 –	30
N°100	2 –	10

Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto, Pasquél (2000).

Moreno (2002), menciona que el agregado grueso se define como el material retenido en el tamiz 4.75 mm. (No 4) proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la norma ASTM C 33. Su función principal es la de dar volumen y aportar su propia resistencia. El Agregado grueso puede ser grava, piedra chancada, etc.

Rivva (2008), indica que el agregado grueso debe de estar graduado dentro de los límites establecidos en la Norma ASTM C 33, los agregados se pueden clasificar de acuerdo a su procedencia y de acuerdo a su peso.

2.3.18. Agua

El comité 318 del ACI, indica que el agua empleada en el mezclado del concreto deberá estar limpia y libre de cantidades peligrosas de aceites, álcalis, ácidos, sales, materia orgánica, u otras sustancias peligrosas para el concreto o el refuerzo. El agua es indispensable para la hidratación del cemento y el desarrollo de sus propiedades, por lo tanto este componente debe de cumplir ciertos requisitos para llevar acabo su función en la combinación química. El agua que ha de ser empleada en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser de preferencia potable. No existen criterios uniformes en cuanto a los límites permisibles para las sales y sustancias presentes en el agua que va a emplearse. La Norma Peruana NTP 339.088, considera aguas aptas para la preparación y curado del concreto, aquellas cuyos contenidos y sustancias disueltas están comprendidos dentro de los siguientes límites:

Cuadro N° 4.

Límites permisibles de contenidos y sustancias disueltas

Descripción	Límite permisible
Sólidos en suspensión	5000 ppm máximo
Materia orgánica	3 ppm máximo
Carbonatos y bicarbonatos alcalinos	1000 ppm máximo
Sulfatos	600 ppm máximo
Cloruros	1000 ppm máximo
PH	Entre 5.5 y 8

Fuente: Tópicos de Tecnología del Concreto, Pasquél (2000).

Rivva (2008), menciona que el agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales: reaccionar con el cemento para hidratarlo, actuar como lubricante para contribuir a la manejabilidad del conjunto y procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse. Por tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla del concreto es normalmente por razones de manejabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento. Otra función del agua después del fraguado del concreto, es el curado, (agua para curado) con lo que se produce una hidratación adicional del cemento. En general son los mismos requisitos que deben ser cumplidos por el agua de mezcla.

La escala usual de valores de pH va desde el 0 hasta 14, el agua pura completamente neutra presenta un valor de pH 7. Un pH igual a cero corresponde a una solución acuosa muy ácida, y un pH 14 a una muy básica. Debido al carácter logarítmico del concepto pH, una variación de una unidad en el valor pH considerado, implica una disminución o un aumento 10 veces mayor en la concentración de acidez o basicidad respectiva. Finalmente es recomendable utilizar el agua potable debido a que es el más adecuado para cualquier tipo de mezcla.

2.3.19. Concreto fresco

Rodríguez (1988), dice que es aquel concreto recién preparado cuyo estado es plástico y moldeable, en el cual no se produce el fraguado ni el

endurecimiento y adopta la forma del encofrado. Las propiedades a largo plazo del concreto (la resistencia, estabilidad de volumen, durabilidad) son severamente afectadas por el grado de compactación, es esencial que la consistencia o manejabilidad del concreto fresco sean tales que pueda compactarse adecuadamente, ser transportado, colocado y acabado con la facilidad suficiente para que no segregue, lo cual perjudica la compactación.

2.3.20. Concreto endurecido.

Rodríguez (1988), menciona que la resistencia del concreto a la compresión es comúnmente considerada como la característica más valiosa aunque en muchos casos son otras, como la durabilidad, impermeabilidad y estabilidad de volumen, las que pueden ser importantes. Sin embargo, la resistencia a la compresión suele dar un panorama general de calidad del concreto, por estar directamente relacionada con la estructura de la pasta del cemento.

2.4. DEFINICION DE TÉRMINOS BÁSICOS

2.4.1. La 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. Se puede definir la ceniza volante como un subproducto de la combustión del carbón en las centrales termoeléctricas para la producción de energía eléctrica.

2.4.2. El concreto.

Abanto (1997), menciona que el concreto es una mezcla adecuada dosificada de cemento, agua, agregados y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción.

2.4.3. El cemento

Criado (2006), menciona que el cemento es un aglomerante hidrófilo, resultante de la calcinación de rocas calizas, areniscas y arcillas, de manera de obtener un polvo muy fino que en presencia de agua adquiere propiedades de endurecimiento, resistencia y adherencia. Se da el nombre de Portland a un cemento obtenido por la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales asociados como sílice, alúmina y óxido de hierro, que son calentados a temperaturas que provocan que se formen escorias, para posteriormente moler el producto resultante.

2.4.4. Los Agregados

Giraldo (2006), indica que los agregados constituyen una importante parte del concreto, aproximadamente el 75% de la masa, por ello su rol es evidentemente de gran importancia. El concreto se hace con partículas de agregado de una variedad de tamaños, la distribución del tamaño de la partícula se denomina gradación. La alternativa de uso más común en la fabricación de concretos de buena calidad consiste en obtener el agregado

de tamaño de partícula de 9.5 mm, o la malla número 3/8" de la ASTM. Así, se divide el agregado fino (arena) del agregado grueso (grava).

2.4.5. El diseño de mezclas

Rivva (1999), define como la selección de las proporciones de los materiales que intervienen como integrantes de una unidad cúbica de concreto en forma adecuada para que el resultado de un concreto tenga la suficiente trabajabilidad y consistencia en el estado fresco y la resistencia y durabilidad en el estado endurecido. Los parámetros básicos para el diseño de mezclas del concreto es el principio de los volúmenes absolutos y el de pesos. Todos los métodos de diseño de mezclas exactos, se basan en el principio de considerar en el cálculo, los volúmenes de los componentes sin incluir los vacíos entre ellos, de manera que sumados conjuntamente con el aire que atrapa el concreto suministren la unidad de medida que se esté adoptando que usualmente es un metro cúbico.

CAPITULO III

PROPUESTA TECNICA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. UBICACIÓN DEL LUGAR DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se llevó acabo en la ciudad de Nuñoa.

- Distrito : Nuñoa.
- Provincia : Melgar.
- Región : Puno.

Su posición geográfica corresponde a las siguientes coordenadas:

- Latitud : 14° 28´24” Sur
- Longitud : 70° 38´21” Oeste
- Altitud : 4025 m.s.n.m.

3.1.1. Características climáticas de la zona en estudio

La climatología del ámbito de distrito de Nuñoa es muy variado que han sido estudiados por diferentes autores, todos los datos que se utilizaron para las interpretaciones climáticas como la hidrología y otros, provienen del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de Puno. Para la zona comprendida entre 3.900 y 4.100 m.s.n.m. la dispersión de las

temperaturas es grande. En toda la cuenca, las temperaturas medias más bajas tienen lugar en Julio, en pleno invierno, mientras que las más elevadas se sitúan de diciembre a marzo, generalmente centradas en febrero.

3.2. Tipo de investigación

La investigación es del tipo aplicada y descriptiva, debido a que la investigación está orientada a la comparación y aplicación de nueva tecnología a diferentes dosis de aplicación de la ceniza volante; y teniendo en consideración las variables de la investigación. Posteriormente se describen sus comportamientos del concreto a diferentes dosis de la ceniza volante.

3.3. Nivel de Investigación

Nivel de investigación descriptivo y explicativo a la vez, debido a que mide la dosis de ceniza volante y además es explicativa por que la investigación está dirigida a encontrar los niveles óptimos de aplicación de ceniza volante.

3.4. Método de investigación

La metodología de investigación que se empleó para este tipo de trabajo de investigación es del tipo experimental.

3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN

3.5.1. Población

Se tiene una población de 60 muestras de concreto las cuales serán evaluadas a tiempos diferentes dosis de ceniza volante (0, 5, 10 y 15%) y tiempos de evaluación (7,14 y 28 días).

3.5.2. Muestra

Para los 12 tratamientos en estudio (dosis de ceniza volante y tiempo de evaluación del concreto), se dividió en muestras de 5 unidades por cada tratamiento, de la siguiente manera:

Cuadro N° 5.

Muestras para cada tratamiento en estudio

Tratamientos en estudio			Muestra correspondiente (unidades)
Código de Tratamiento	Dosis de ceniza volante (%)	Tiempo de evaluación (días)	
T1 =	0	7	5
T2 =	0	14	5
T3 =	0	28	5
T4 =	5	7	5
T5 =	5	14	5
T6 =	5	28	5
T7 =	10	7	5
T8 =	10	14	5
T9 =	10	28	5
T10 =	15	7	5
T11 =	15	14	5
T12 =	15	28	5
Total			60

3.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño utilizado para la evaluación de este trabajo de investigación

fue el diseño completamente al azar con arreglo factorial de 4 dosis de ceniza volante y 3 tiempos de evaluación, con un total de 12 tratamientos, cada tratamiento tuvo 5 repeticiones. En total se tuvo 60 unidades experimentales.

El modelo estadístico para un diseño completamente al azar con arreglo factorial, es el siguiente (Ibañez, 2009):

El análisis de varianza, es una técnica matemática que nos permite descomponer una fuente de variación total en sus componentes atribuibles a fuentes de variación conocida.

El análisis estadístico es de mucha importancia en la evaluación de los resultados obtenidos porque nos permite tener la certeza de la confiabilidad de los valores extraídos de las pruebas, y en función a los parámetros estadísticos podemos evaluar los resultados.

Para este trabajo de investigación se usó cuatro dosis de ceniza volante bajo tres tiempos de evaluación (tratamientos), los cuales con replicados en 5 repeticiones, la obtención de réplica permite obtener una estimación del error experimental así como calcular una respuesta más precisa del efecto del estudio, entre mayor sea el número de repeticiones para cada experimento, mejor será el resultado obtenido en la estimación de la varianza.

3.7. MATERIALES EMPLEADOS

a) El cemento: El cemento que se utilizó, fue de la marca Rumi Pórtland tipo IP clasificado por la ASTM C150 como cemento puzolánico; la razón por la que se usó este cemento es porque es el cemento que se produce en la zona y es el más comercial dentro de nuestro departamento. El cemento presenta un peso específico de 3.15 gr/cm^3 .

b) Los agregados: Para la elaboración del concreto, los cuales fueron obtenidos de la cantera del río Nuñoa, ubicado a la margen derecha de la ciudad de Nuñoa, estos agregados de esta cantera tiene mayor uniformidad y menor cantidad posible de partículas finas como arcillas y limos.

Para asegurar la calidad de los agregados se hizo los ensayos necesarios para poder realizar el diseño de mezclas dentro de ellos fueron: granulometría, módulo de fineza, contenido de humedad, peso específico y peso unitario todos estos ensayos se realizaron en el laboratorio de geotecnia mecánica de suelos GEOLUZMAR – E.I.R.L. provincia de Melgar Ayaviri región de Puno.

- **Granulometría.** Una vez obtenido el agregado de la cantera del río Nuñoa se llevó al Laboratorio de Suelos y Concreto – GEOLUZMAR - Ayaviri, para realizar su respectivo análisis granulométrico.

Los resultados obtenidos del laboratorio de granulometría de los agregados, se encuentran dentro de los límites permitidos y recomendados de acuerdo a la granulometría por lo tanto se aceptan dichos agregados para utilizar en este trabajo de investigación.

- **Módulo de fineza o finura para el agregado fino.-** Una vez obtenidos los resultados de granulometría según la Norma MTC E-204-2000, para los agregados se muestra que el módulo de fineza del agregado fino fue de 3.17 (Modulo de Fineza – terminología relativa para concreto y agregados de concreto).

Los resultados obtenidos nos indican que el agregado, posee un adecuado módulo de fineza, el cual es un factor muy importante para realizar el diseño de mezclas, este valor obtenido de 3.17 nos indica que el agregado fino presenta una granulometría de media y adecuada para la elaboración del concreto.

- **Contenido de humedad y absorción.-** Mediante el análisis de laboratorio se realizó dos ensayos, para cada tipo de agregados, esto con la finalidad de obtener una mejor media representativa de los agregados, siguiendo las recomendaciones de la Norma ASTM C 566 de Contenido de Humedad total de los agregados, y la norma ASTM C 127 – 128 del Peso Específico y absorción de los agregados fino y grueso.

Cuadro Nº 6.

Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados del río Nuñoa.

Agregado	Grava	Arena
Contenido de humedad	4.18	6.97
Porcentaje de absorción	1.15	3.47

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro N° 13, se muestra los resultados del contenido de humedad y porcentaje de absorción de agregados de los dos tipos, en donde indican que presentan una absorción menor al contenido de humedad lo que originará una menor cantidad necesaria de agua en el diseño de mezcla.

- **Peso específico.** De acuerdo a la recomendación de la Norma ASTM C 127 – 128, el peso específico de los agregados finos y gruesos obtenidos se muestran en el siguiente cuadro los resultados:

Cuadro N° 7.

Pesos específicos de los agregados del rio Nuñoa.

Agregado	Grava	Arena
Peso específico	2.59	2.05

Fuente: Elaboración propia.

Los valores obtenidos en este ensayo muestran valores específicos promedios de los agregados los cuales no presentan características especiales, más bien un comportamiento normal, lo cual nos garantiza una dureza adecuada para el comportamiento mecánico del concreto.

- **Peso unitario compactado del agregado grueso.-** Para obtener el peso unitario se realizó un ensayo de este tipo para el agregado grueso, con la finalidad de obtener una mejor medida representativa de los agregados, tal como lo recomienda la Norma ASTM C 29 (Peso Unitario del agregado).

Cuadro N° 8.

Peso unitario de los agregados del río Nuñoa.

Agregado	Grava	Arena
Peso Unitario	2,006	1,972

Fuente: Elaboración propia.

c) Agua: El agua que se ha utilizado para la elaboración de los concretos deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088 y ser de preferencia potable ya que el agua de mezcla en el concreto tiene tres funciones principales: Reaccionar con el cemento para hidratarlo, actuar como lubricante para contribuir a la manejabilidad del conjunto y procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacio para desarrollarse. Para la presente investigación se utilizó agua potable del NUÑOA.

d) Ceniza volante.- El tipo de ceniza volante empleado para este trabajo de investigación es la ceniza volante de tipo F, que se encuentra en la central termoeléctrica de Ilo 21. En la imagen se aprecia la recolección de la ceniza volante el cual será utilizado como material adicionado en el cemento.

Las proporciones utilizadas para la ejecución del presente trabajo de investigación fueron los siguientes dosis: 5.00%, 10.00%, y 15.00% con relación al peso del cemento empleado en la elaboración del concreto.

- **Análisis químico de la ceniza volante.** Para poder comprender mejor la influencia de la ceniza volante en la elaboración de los concretos, fue necesario conocer el porcentaje de los componentes de sus elementos

principales. Para lo cual se llevó una muestra de 5 kg. de ceniza volante al laboratorio denominado: Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R. Ltda., ubicado en la ciudad de Arequipa para realizar el análisis químico, los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 9.

Análisis químico de la ceniza volante.

Descripción de muestra	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	Mn ₂ O ₃ %	CaO %	MgO %	Na ₂ O %	K ₂ O %	LOI %	SO ₃ %
Ceniza volante	54.32	25.36	0.18	0.05	1.18	0.03	1.27	1.93	2.66	0.05

Fuente: Laboratorios Analíticos del Sur

Según los resultados obtenidos de análisis químico la ceniza volante de tipo **F**, debido a que los tres primeros componentes como son: **SiO₂** = 54.32 %, **Al₂O₃** = 25.36 % y el **Fe₂O₃**=0.18 %., alcanzan más del 70% cumpliendo con los requisitos establecidos en la norma ASTM C618.

Cuadro N° 10.

Componentes de la ceniza volante Tipo F.

COMPONENTES	CLASE F
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	70% mín.
Mg O	5% máx.
SO ₃	5% máx.
Humedad	3% máx.

Fuente: Summary – ASTM C-618, Pozzolan.

Después de haber realizado los ensayos y los análisis de los materiales a utilizarse para poder cumplir con el objetivo principal de la presente tesis, se ha considerado probar las muestras en estado sumergido,

realizando 15 pruebas por cada condición de ensayo; es decir 5 probetas para ensayarlas a los 7 días, 5 probetas para los 14 días y 5 probetas para los 28 días, a continuación se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 11.
Cantidad de probetas utilizadas en los ensayos

Nº	Probetas	7 días	14 días	28 días	Sub total
1	Concreto normal	5	5	5	15
2	Concreto con 5 % de ceniza volante	5	5	5	15
3	Concreto con 10 % de ceniza volante	5	5	5	15
4	Concreto con 15 % de ceniza volante	5	5	5	15

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó en total:

Muestras Testigo:	15	muestra
Muestras Estudio:	45	muestra
<u>Total de Muestras:</u>	<u>60</u>	<u>muestra</u>

3.8. Elaboración de los concretos

3.8.1. Método del ACI para el diseño de mezclas

Para el diseño de mezcla se utilizó el método del comité 211 de la ACI, que es un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple el cual, basándose en las tablas, permite obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto.

Para la elaboración de los diferentes tipos de diseño de mezclas se ha empleado los agregados provenientes del río Nuñoa y tiene las siguientes características.

Cuadro N° 12.

Análisis de agregados del Río Nuñoa

CANTERA RIO NUÑOA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Tamaño máximo nominal	1"	-----
Peso específico	2,59	2,05
Peso unitario suelto (kg/m ³)	2,006	1,972
Peso unitario compactado(kg/m ³)	2,087	2,128
Contenido de humedad %	4.18	6.97
Absorción %	1.15	3.47
Módulo de fineza	-----	2.70

Fuente: Laboratorio de GEOLUZMAR- Ayaviri.

El diseño de mezcla se ha realizado de la siguiente manera:

❖ Cálculo de la resistencia promedio.

Para una resistencia del diseño mezcla de 210 Kg/cm², se ha considerado el factor de 84, obteniendo una resistencia promedio de: 294 Kg/cm².

❖ Selección del tamaño máximo nominal del agregado.

El tamaño máximo del agregado se ha determinado por el diámetro, de acuerdo al reglamento nacional de edificaciones donde indica que el tamaño máximo del agregado no debe exceder de 1 ¼ del diámetro.

- Es por eso que se utilizó como tamaño máximo 1".

❖ Selección del asentamiento

- La selección del asentamiento fue de 4.5"-3" (Mezclas plásticas).

❖ **Selección del volumen unitario del agua**

Para el cálculo del volumen unitario de agua, se ha considerado la tabla confeccionada por el ACI 211, que está en función a la consistencia, al tamaño máximo nominal, y la condición del aire en la mezcla.

Cuadro N° 13.

Volumen unitario de agua para el diseño de mezcla.

Asentamiento	Agua en l/m ³ de concreto para los tamaños nominales máximos del agregado grueso y consistencia indicada							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concretos sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	-

Fuente: *Diseño de mezclas de Riva López (1998).*

De acuerdo a las tablas, para un concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4", con tamaño máximo de 1", el volumen de agua unitario es de 193 litros/m³.

❖ **Selección del contenido de aire.**

De acuerdo a las tablas se determina que el contenido de aire atrapado para un agregado grueso del tamaño máximo nominal de 1" a 1.5%.

Cuadro N° 14.

Contenido de aire

Contenido de aire atrapado	
Tamaño máximo nominal aire atrapado	
3/8"	3.00%
1/2"	2.50%
3/4"	2.00%
1"	1.50%
1 1/2"	1.00%
2"	0.50%
3"	0.30%
6"	0.20%

Fuente: Diseño de mezclas, Rivva López (1998).

❖ Selección de la relación agua/cemento.

A continuación se muestra la tabla empleada para obtener el valor de la relación agua - cemento.

Cuadro N° 15.

Relación de agua-cemento para el diseño de mezcla

F'c (28 días)	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.7	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.4
400	0.43	---
450	0.38	---

Fuente: Diseño de mezclas, Rivva López (1998).

Para una resistencia promedio de 294 Kg./cm², se encuentra una relación agua cemento por resistencia de 0.55.

❖ Determinación del factor cemento.

Se determinó dividiendo:

$$F'c = \text{Vol. unitario de agua} / (\text{relación agua/cemento})$$

$$F'c = 193 / 0.55 = 350.91\text{Kg}$$

$$\text{En bolsas de cemento por m}^3: 350.91/42.5 = 8.26 \text{ bolsas/m}^3$$

❖ **Determinación del contenido de agregado grueso.**

Según las tablas para un módulo de fineza de 3.17 y un tamaño máximo de 1", encontramos un valor de 0.70 m³ de agregado grueso, seco compactado por unidad de volumen del concreto.

Cuadro N° 16.

Contenido de agregado grueso

Volumen de agregado grueso por unidades de volumen de concreto				
Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Volumen de agregado grueso, seco y compactado por unidad de volumen de concreto, para diferentes módulos de fineza de agregado fino			
	Módulo de fineza del agregado fino			
	2.4	2.6	2.8	3.17
3/8 "	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2 "	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4 "	0.66	0.64	0.62	0.60
1 "	0.71	0.69	0.67	0.70
1 1/2 "	0.76	0.74	0.72	0.72
2 "	0.78	0.76	0.74	0.75
3 "	0.81	0.79	0.77	0.82
6 "	0.87	0.85	0.84	0.81

* El Agregado Grueso se encuentra en la condición de seco compactado, tal como es definida por la Norma ASTM C 29.
 ** El cálculo del contenido de agregado grueso a partir del coeficiente b/bo, permite obtener concretos con una trabajabilidad adecuada para concreto armado usual.
 *** Para concreto menos trabajables, tales como los que se requiere en pavimentos, la relación puede incrementarse en un 10 %. Para concretos más trabajables, tales como los concretos bombeados, los valores pueden reducirse en un 10 %.

Fuente: *Diseño de mezclas*, Rivva López (1998).

$$\text{Peso del agregado grueso: } 0.22 \times 2087 = 459.00 \text{ kg.}$$

❖ **Determinación de la suma de los volúmenes absolutos, de cemento, agua, aire y agregado grueso.**

- Cemento: $350.91/(3.15*1000) = 0.1134\text{m}^3$
 - Agua: $193/1000 = 0.1930\text{m}^3$
 - Aire: $1.5\% = 0.0150\text{m}^3$
 - Agregado grueso $1113/2450.67 = \underline{0.1775\text{m}^3}$
- 0.4989m³**

❖ **Determinación del volumen absoluto de agregado fino.**

El volumen Absoluto del agregado fino será la diferencia entre la unidad y la suma de los volúmenes absolutos:

- Volumen de agregado fino = $1 - 0.4989 = \mathbf{0.5011\ m^3}$

❖ **Determinación del peso seco del agregado fino.**

- Peso del agregado fino seco: P.e. seco fino* Vol. Ag. Fino
- Peso del agregado fino seco: $2055.48 * 0.5011 = \mathbf{1030\ Kg.}$

❖ **Determinación de los valores de diseño**

- Cemento = $350.91\ \text{Kg./m}^3$
- Agua = $139.00\ \text{Kg./m}^3$
- Agregado fino seco = $1030.00\ \text{Kg./m}^3$
- Agregado grueso seco = $459.00\ \text{Kg./m}^3$

❖ **Corrección por humedad y absorción del agregado.**

Teniendo como datos:

Cuadro N° 17.

Corrección por humedad y absorción.

Descripción	Agregado grueso	Agregado fino
Contenido de humedad %	4.18	6.97
Absorción %	1.15	3.47

Fuente: LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS GEOLUZMAR.

Peso húmedo de los agregados:

- Agregado Fino 1030.0 x 1.0 = 1030.0 Kg./m³
- Agregado Grueso 459 X 1.0 = 459.0 Kg./m³

Los aportes de los agregados fueron:

- Agregado Fino 1030 x (6.97%-3.47%) = 0.14
- Agregado Grueso 459 x (4.18%-1.15%) = 0.36

Suma (aporte de los agregados) = **0.50**

Agua efectiva: = **193.00 l/m³**

Los pesos corregidos por humedad del agregado para 1m³ fue de:

- Cemento = 346.0 Kg./m³
- Agua = 193.0 Lt./m³
- Agregado fino seco = 1030.0 Kg./m³
- Agregado grueso seco = 459.0 Kg./m³

❖ Determinación de la proporción de diseño.

La proporción de los materiales corregidos por humedad del agregado resultaron:

- Cemento = 346.0/346.0 = 1.0
- Agua = 193.0/346.0 = 0.6
- Agregado fino = 1030.0/346.0 = 3.0

$$- \text{Agregado grueso} = 459.0/346.0 = 1.3$$

Finalmente la proporción de mezcla asumida será de la siguiente manera:

Cuadro N° 18.

Proporción del diseño de mezcla.

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso
1	1.3	3.0

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Ensayos realizados en el concreto fresco

El ensayo que se tomó en cuenta para el concreto fresco es la prueba de revenimiento, para la determinación de la consistencia o manejabilidad del concreto fresco mediante el ensayo de cono de Abrahams, es la que determino el estado de fluidez de la mezcla y la uniformidad de la mezcla.

Mezclado: La medición de los materiales que se han utilizados fueron en kilogramos, en el mezclado del concreto se ha empleado una mezcladura para realizar una mezcla homogénea; primeramente se ha agregado agua, cemento y los agregados gruesos y finos para que se homogenicen esto en un lapso de 2 a 3 minutos, luego cuando ya está bien homogenizado la mezcla se hace el ensayo de la prueba de revenimiento, para la determinación de la consistencia o manejabilidad y posteriormente el ensayo de cono de Abrahams, que nos determinara el estado de fluidez de la mezcla y también controlar la uniformidad de la mezcla. Para tal efecto se ha realizado el siguiente procedimiento:

- Se ha colocado la base metálica sobre una superficie lisa no absorbente, colocando encima el molde de forma de un tronco cónico el cual ha sido previamente humedecido las áreas que estarán en contacto con el concreto; y se mantuvo inmóvil pisando firmemente las aletas.
- Seguidamente colocamos la mezcla en tres capas de concreto, compactando con la varilla de diámetro de 5/8" y se ha procurado que cada capa ocupe la tercera parte del volumen del molde.
- Se ha compactado con 25 golpes con la barra compactadora distribuidos y aplicados uniformemente en toda la sección por cada capa, se ha notado que en la capa inferior es necesario inclinar un poco la barra y dar los golpes cerca del perímetro, acercándose progresivamente en espiral hacia el centro de la sección.
- Una vez compactada la segunda capa, a la última capa se le tuvo que añadir una cantidad necesaria de concreto para así poder enrasar la superficie con una plancha de albañilería.
- Una vez que se ha terminado esta operación se ha procedido a levantar el molde cuidadosamente en dirección vertical en un tiempo de 5 a 10 segundos aproximadamente para lo cual se ha evitado en lo posible los movimientos laterales inmediatamente después se ha medido el asentamiento.

Este procedimiento ha sido realizado en cada operación de mezclado, determinando de esta manera la consistencia del concreto normal y los concretos adicionados con ceniza volante.

3.8.3. Ensayo para la elaboración de probetas cilíndricas de concreto

Una vez determinada la consistencia del concreto se procedió inmediatamente a la elaboración de probetas, en un tiempo no mayor de diez minutos después del muestreo. Para ello se limpiaron y luego engrasaron los moldes para facilitar el descimbrado de los especímenes.

Se llenaron los cilindros en tres partes cada una en forma proporcional, para compactar las capas para ello se utilizó la barra compactadora de 5/8" de diámetro y de 65 cm de longitud con punta semiesférica, introduciendo 25 veces en forma de espiral hacia el centro del cilindro y se golpeó con un mazo de goma para expulsar el contenido de aire en el concreto exteriormente en el molde.

Para la tercera capa se ha llenado el cilindro colocando un pequeño excedente de concreto para poder enrasarla, para el acabado final del cilindro.

Y luego una vez fraguado los cilindros de concreto se desmolden.

Con el presente trabajo de investigación se evaluó la influencia de cuatro dosis o proporciones distintas de aplicación de ceniza volante al concreto más la normal que es el testigo y cuya resistencia a la compresión se ha probado en tres fechas diferentes a los 07, 14, y 28 días, se ha utilizado el laboratorio de mecánica de suelos y concreto del GEOLUZMAR – Melgar - Puno.

3.8.4. Curado de los especímenes de concreto

Una vez moldeadas las probetas, estas se cubrieron para prevenir la exudación y/o evaporación del agua de la superficie superior del concreto con una lámina de plástico durable, posteriormente después de 24 horas se desmoldó aplicando una solución de cal a una temperatura 8 a 15°C.

3.8.5. Ensayos realizados en el concreto endurecido

Para realizar los ensayos de concreto endurecido se procedió de la siguiente manera:

- Los especímenes son ensayados previa revisión de sus superficies las cuales estaban en contacto con la carga.
- Se colocó cuidadosamente los especímenes alineando sus superficies a las placas de la máquina en el centro de éste para evitar excentricidades.
- Seguidamente se colocó la máquina en cero ajustando los indicadores de carga, luego se procedió a aplicar la carga hasta que el espécimen falle y se anotó la máxima carga que ha soportado los especímenes.

Los factores que afectan los valores de su resistencia a la compresión son: La superficie de las probetas de 10 a 20% y la velocidad de la aplicación de la carga.

3.8.6. Determinación de la consistencia

Para la determinación de la consistencia se utilizaron los siguientes materiales:

- Molde del Cono de Abrahams, de forma tronco cónica, de bases paralelas de 10 cm diámetro superior y 20 cm. Diámetro inferior; con una altura de 30cm.
- Barra compactadora, barra de acero lisa de 5/8" y 60cm. De longitud con punta semiesférica.
- Base metálica como superficie de apoyo.

Los equipos y herramientas que se utilizaron para la elaboración de los concretos fueron los siguientes:

- Mezcladora de 5 pie³ de capacidad.
- Moldes metálicos para verter la mezcla.
- Probetas de ensayo de 15 cm. de diámetro x 30 cm. de altura.
- Las briqueteras metálicas
- Una varilla de 5/8" de diámetro, con 60cm. de longitud y punta semiesférica.
- Mazo de caucho.
- Pala, espátula y cuchara.
- Carretilla u otro contenedor apropiado.
- Máquina para compresión.

3.9. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.9.1. Técnicas

La técnica que se ha utilizado para este trabajo de investigación fue análisis de laboratorio, el cual fue realizado en el Laboratorio Geotecnia Mecánica de Suelos GEOLUZMAR E. I. R. L. Ayaviri Melgar - Puno, la

recopilación de datos se realizó dentro del plazo establecido durante el proceso de ejecución del proyecto de investigación.

3.9.2. Instrumentos

Los instrumentos que se utilizaron para la ejecución del presente trabajo de investigación fueron las fichas de recolección de datos a partir del informe de análisis de laboratorio.

3.10. VIABILIDAD DE LA INVESTIGACION

3.10.1. Viabilidad Técnica

Se da la Viabilidad técnica en el sentido de que el uso de las cenizas volantes permitirá la reducción de las emisiones de CO₂ al sustituir cemento por cenizas volantes, mejorando la resistencia a la compresión, que es una de las principales propiedades que se consideran en la fabricación de concreto.

3.10.2. Viabilidad Social

El uso de las cenizas volantes permitirá que la población de Nuñoa y lugares similares pueda usar las cenizas volantes.

3.10.3. Viabilidad Económica

Los costos en la fabricación de los concretos disminuyen debido a la reducción de consumo de cemento que normalmente se emplea, de esta forma se va evaluando la influencia de las cenizas volantes.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. PRESENTACION, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

La distribución de los factores en estudio tales como los tiempos (07, 14, y 28 días) y las dosis: En este tratamiento no se ha utilizado la ceniza volante (T1), se empleó 5.00 % de ceniza volante (T2), se empleó 10.00 % de ceniza volante (T3), se empleó 15.00 % de ceniza volante (T4); mediante el arreglo factorial y utilizando el diseño completo al azar y de acuerdo al cuadro 4.13.

Cuadro N° 19.

Resultados de las pruebas a la compresión de concreto y para diferentes dosis de ceniza volante.

CONCRETO NORMAL			05 % DE CENIZA VOLANTE			10 % DE CENIZA VOLANTE			15 % DE CENIZA VOLANTE		
7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS	7 DIAS	14 DIAS	28 DIAS
138.36	174.65	226.35	147.13	179.38	241.80	145.28	172.98	234.03	142.4	166.11	225.65
141.47	168.31	214.92	149.13	181.76	240.25	143.44	178.08	227.87	139.66	170.47	218.37
141.23	170.47	219.53	153.67	184.31	238.25	148.26	176.56	233.16	143.43	183.37	224.74
142.15	171.07	221.59	151.85	181.00	239.69	144.05	173.09	232.57	145.6	167.82	226.47
139.67	176.05	225.48	153.28	181.38	237.49	147.33	171.26	228.37	141.36	168.97	226.95

Fuente: Elaboración propia

Las resistencias a la compresión de todas las mezclas de concreto se dan en el cuadro N° 19, en donde se observa las mezclas de concreto con ceniza volante desarrollan resistencias más altas que los controles de cemento portland. El concreto es el material de construcción más utilizado en el mundo y su producción aparentemente es muy simple; sin embargo, se dice que un concreto es eficiente cuando alcanza la resistencia deseada, y que es económico y durable cuando resulta apropiado para las condiciones ambientales a las que estará expuesto. Las investigaciones han sido orientadas en producir mezclas muy compactas que aumenten la densidad y disminuyan la permeabilidad. Esto puede ser logrado añadiendo materiales cementantes suplementarios, tal como la ceniza volante, escorias, que a su vez mejoran las propiedades de la mezcla de concreto en estado fresco.

Para hacer la evaluación del presente trabajo de investigación se ha adoptado a un modelo de arreglo factorial 3*5 con 5 repeticiones, es decir se han probado 60 unidades experimentales, de los cuales los datos tabulares se ha evaluado a través del análisis de varianza se detalla en el cuadro N° 20.

Cuadro N° 20.

Análisis de varianza para lectura de resistencia

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Fc	Ft 0.05	Ft 0.01	Sig.	Pr > F
Dosis de Ceniza volante (C)	3	1449.75823	483.25274	43.50	2.80	4.22	**	<.0001
Días de evaluación	2	72947.4379 6	36473.7189 8	3283. 43	3.19	5.08	**	<.0001

(D)								
C x D	6	142.20713	23.70119	2.13	2.29	3.20	n.s.	0.0665
Error	48	533.20336	11.10840					
Total correcto	59	75072.6066 9						

CV=1.82%

Promedio general=182.99

De acuerdo al cuadro del análisis de variancia del cuadro N° 20, para las Dosis de ceniza volante, existe una diferencia estadística altamente significativa, esto quiere decir que las dosis han influido sobre la resistencia a la comprensión; para los días de evaluación, se observa que también existe una diferencia estadística altamente significativa, indicando que las pruebas de resistencias del concreto con las pruebas de compresión son muy diferentes estadísticamente las pruebas a los 07 días, 14 días y 28 días presentan una resistencia distinta en cada uno de los casos. El coeficiente de variación igual a 1,82 % indica que los datos evaluados son confiables debido que los resultados son procedentes de laboratorio.

4.1.1 RESISTENCIA DEL CONCRETO ENDURECIDO A DIFERENTES PROPORCIONES DE CENIZA VOLANTE EN LA MEZCLA DE CONCRETO

En el cuadro N° 21, se observa la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$), para el factor Dosis de ceniza volante, en donde se observa que la dosis al 5% tuvo mayor resistencia con un promedio de 190.69 kg/cm², el cual es estadísticamente superior a las demás lecturas; seguido de la dosis de ceniza volante al 10% con un promedio de 183.76 kg/cm². Le sigue la dosis de ceniza volante al 15% con un promedio de 179.43 kg/cm². En último lugar se ubica el Concreto normal (testigo) el cual tuvo menor lectura de resistencia.

Cuadro N° 21.

Prueba de Duncan para factor Dosis de ceniza volante sobre lectura de resistencia.

Orden de merito	Dosis de ceniza volante	Promedio de resistencia (kg/cm ²)	Sig. ≤ 0.05
1	5%	190.69	a
2	10 %	183.76	b
3	15%	179.43	c
4	Concreto normal	178.09	c

Según los resultados, se observa que la dosis de ceniza volante, han influido sobre la resistencia a la compresión de concreto, los cuales han ratificado que a mayor dosis de nivel de ceniza baja de resistencia a la compresión.

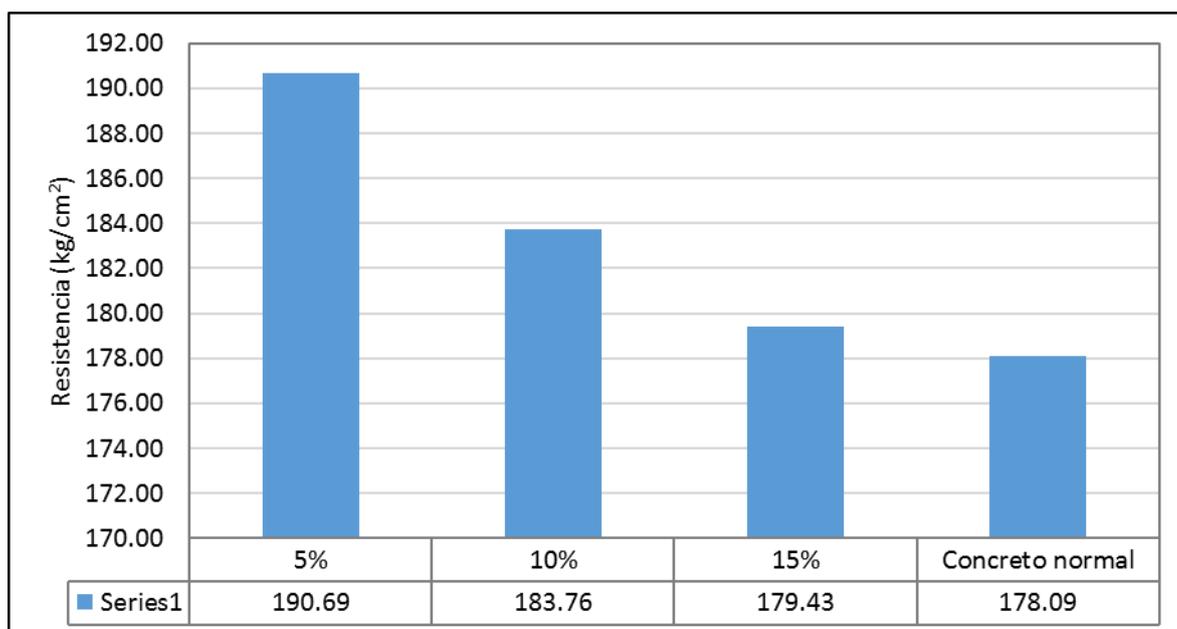


Figura N° 1. Lectura de Resistencia (kg/cm²) por efecto del factor Dosis de ceniza volante.

Aunque en el estudio se aprecia que con el aumento en la proporción de ceniza volante, el costo del cementante es mucho más bajo, ya que la ceniza volante es mucho más barata que el cemento portland, adicionalmente se refiere que el poder usar la ceniza volante que es un desecho industrial contaminante, en la producción de concreto permite considerar al mismo como un material sustentable.

4.1.2. VARIACIÓN DE LA EDAD DEL CONCRETO SOBRE LA CONSISTENCIA QUE GENERA LA CENIZA VOLANTE COMO ADICIONADO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS.

En el cuadro N° 22, se observa la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$), para el factor Días de evaluación, en donde se observa que a los 28 días se tuvo mayor resistencia con un promedio de 229.18 kg/cm², el cual es estadísticamente superior a las demás lecturas; seguido de 14 días con un promedio de 174.86 kg/cm². En último lugar se ubica la evaluación a los 7 días con un promedio de 144.94 kg/cm².

Cuadro N° 22.

Prueba de Duncan para factor Días de evaluación sobre lectura de resistencia.

Orden de merito	Días	Promedio de resistencia (kg/cm²)	Sig. ≤ 0.05
1	28	229.18	a
2	14	174.86	b
3	7	144.94	c

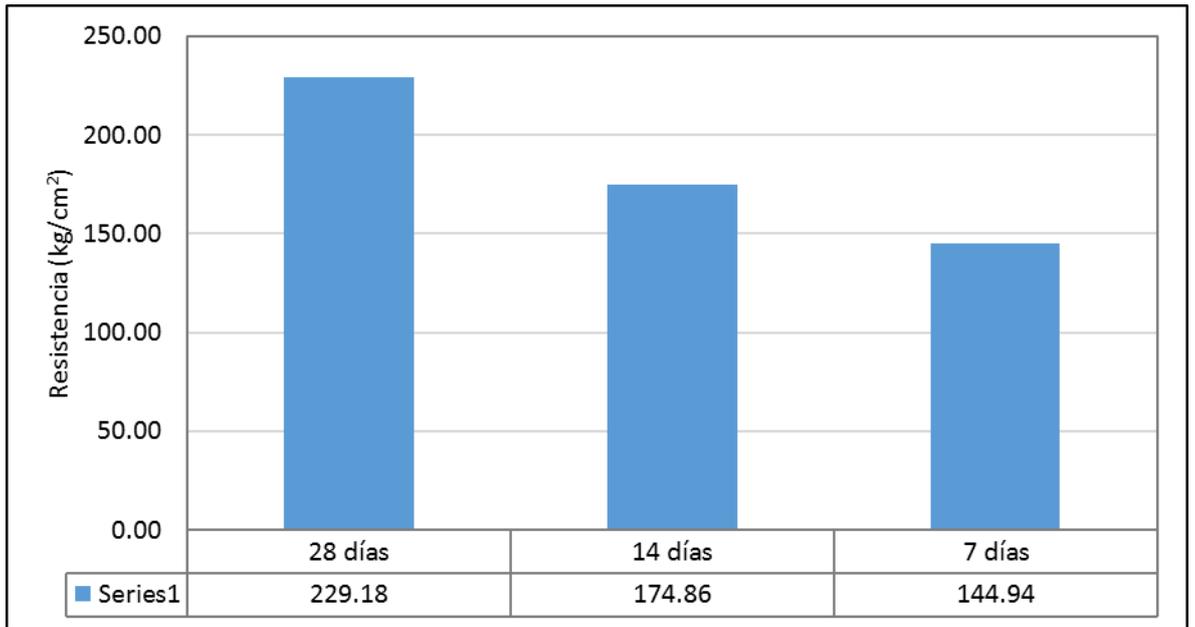


Figura Nº 2. Lectura de resistencia (kg/cm²) por efecto del factor Días de evaluación.

Se observa que a mayor porcentaje de la ceniza volante para una consistencia dada, la resistencia a la compresión se fue incrementando hasta un valor dado, sin embargo se observa que para proporciones muy elevadas de ceniza volante, la resistencia a la compresión comienza a decrecer. Es conocido que a menor contracción por secado, menos tendencia al agrietamiento tendrá el concreto, en este estudio también se demuestra claramente la factibilidad de uso de la ceniza volante en la reducción de los niveles de contracción por secado.

El grado de variación de la consistencia que genera la ceniza volante, en la propiedades del concreto fresco, es influenciada a través de una demanda de agua para un revenimiento dado, una cohesión mejorada, una segregación reducida, y también reduce la temperatura pico durante el curado, lo que ayuda a disminuir el agrietamiento térmico.

Los valores determinados de consistencia mediante el cono de Abrahams, fueron los siguientes:

Cuadro N° 23.

Desarrollo del Slump en el concreto.

N°	Grupo de muestra	A	B	Promedio
1	Muestras Patrón	3.0"	4.0"	3.50"
2	Muestras con 5% de ceniza volante	3.30"	4.00"	3.65"
3	Muestras con 10% de ceniza volante	3.00"	4.00"	3.50"
4	Muestras con 15% de ceniza volante	3.40"	3.50"	3.45"

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro, se aprecia que el asentamiento del concreto normal máximo fue de 4.0" y el asentamiento mínimo fue de 3.0", del cual se puede deducir que a mayor cantidad de ceniza volante de carbón se genera descenso en la consistencia del concreto por lo tanto el concreto se vuelve más denso.

Los factores más importantes que producen esta deformación son la cantidad de agua de amasado, la granulometría y la forma y tamaño de sus áridos; y la docilidad, que puede considerarse como la aptitud de un concreto para ser empleado en una obra determinada; para que un concreto tenga docilidad, debe poseer una consistencia y una cohesión adecuada, así cada obra tiene un concepto de docilidad, según sus medidas y características y densidad, que es un factor muy importante a tener en cuenta para la uniformidad del concreto pues el peso varía según la

granulometría, y humedad de los áridos, agua de amasado y modificaciones en el asentamiento.

Sin embargo, en nuestro medio el uso de ceniza volante (mejor conocido como “fly ash”) en el concreto, añade beneficios que mejoran su desempeño durante el tiempo de servicio del mismo. Una de las ventajas más importantes que posee una mezcla de concreto con ceniza volante es la baja permeabilidad, debido a que está constituido por sílice el cual reacciona con el hidróxido de calcio del cemento, formando compuestos de silicato de calcio, sellando los poros capilares del concreto, lo cual conduce a una reducción de su capilaridad incrementando su permeabilidad, resistencia a la compresión y sellado de los poros capilares del concreto.

4.1.3. PROPORCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONCRETO DE $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Mediante el desarrollo de un procedimiento de diseño de mezclas bastante simple, el cual permitió obtener valores de los diferentes materiales que integran la unidad cúbica de concreto, para un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

- a) Cálculo de la resistencia promedio: considerando el factor de 84, se obtiene una Resistencia promedio de 294 Kg/cm^2
- b) Selección del tamaño máximo nominal del agregado: 1”
- c) Selección del asentamiento: La selección del asentamiento fue de 4.5”-3”
- d) Selección del volumen unitario del agua: Para una resistencia promedio de 294 Kg. /cm^2 , se encuentra una relación agua cemento por

resistencia de 0.558

- e) Determinación del factor cemento: $FC = 193 / 0.558 = 346.0$ Kg En
bolsas de cemento por m^3 : $346.0/42.5 = 8.14$ bolsas/m
- f) Determinación del contenido de agregado grueso: Peso del agregado grueso $2087 \times 0.22 = 459.0$ kg.
- g) Determinación de la suma de los volúmenes absolutos, de cemento, agua, aire y agregado grueso: $0.4989 m^3$
- h) Determinación del volumen absoluto de agregado fino:
Volumen de agregado fino = $1 - 0.4989 = 0.5011 m^3$
- i) Determinación del peso seco del agregado fino: 1030.0 Kg.
- j) Determinación de los valores de diseño
- Cemento = 346.0 Kg./m^3
 - Agua = 193.0 Lt./m^3
 - Agregado fino = 1030.0 Kg./m^3
 - Agregado grueso = 459.0 Kg./m^3
- k) Corrección por humedad y absorción del agregado.
- Cemento = 346.00 Kg./m^3
 - Agua = 193.00 Lt./m^3
 - Agregado fino = 1030.0 Kg./m^3
 - Agregado grueso = 459.0 Kg./m^3
- l) Determinación de la proporción en peso de diseño, corregidos por humedad del agregado son:
- Cemento = $346.0/346.00 = 1$
 - Agua = $193.0 /346.0 = 0.5$
 - Agregado fino = $1030.0 /346.0 = 3.0$

- Agregado grueso = $459.0 / 346.0 = 1.3$

Por tanto las proporciones de mezcla en base a las dosis de ceniza volante, fueron:

Cuadro N° 24.

La proporción de mezcla en volumen para un $f'c = 210 \text{ kg. /cm}^2$.

Cemento	Agregado fino	Agregado grueso	Agua
1	3.0	1.3	0.558

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 25.

La proporción en peso de los componentes del concreto:

Cemento (kg.)	Agregado fino (kg.)	Agregado grueso (kg.)	Agua (lt.)
42.5	126.60	56.40	23.70

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 26.

Concreto adicionado con un 5.00 % de ceniza volante.

Cemento (kg.)	Ceniza Volante (kg.)	Agregado fino (kg.)	Agregado grueso (kg.)	Agua (lt.)
41.44	1.06	126.60	56.40	23.70

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 27.

Concreto adicionado con un 10.00 % de ceniza volante.

Cemento (kg.)	Ceniza Volante (kg.)	Agregado fino (kg.)	Agregado grueso (kg.)	Agua (lt.)
40.38	2.13	126.60	56.40	23.70

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 28.

Concreto adicionado con un 15.00 % de ceniza volante.

Cemento (kg.)	Ceniza Volante (kg.)	Agregado fino (kg.)	Agregado grueso (kg.)	Agua (lt.)
38.25	4.25	126.60	56.40	23.70

Fuente: Elaboración propia.

Al observar los cuadros N° 26, 27 y 28, se deduce que las dosis de los componentes para la elaboración de concretos es variable en función a la dosis de ceniza volante.

Al analizar mediante un gráfico, se observa que entre la Dosis de ceniza volante (C) por Días de evaluación (D), se tiene diferentes respuestas en resistencia (figura 6), en donde se observa que la dosis del 5% de ceniza volante con la evaluación a los 28 días tuvo mayor resistencia con un promedio de 239.50 kg/cm², el cual es superior numéricamente a las demás lecturas de resistencia; seguido de la dosis de 10% de ceniza volante con la evaluación a los 28 días con un promedio de 231.20 kg/cm², el cual es diferente numéricamente a las demás lecturas. En último lugar se ubica el concreto normal con la evaluación a los 7 días la evaluación con un promedio de 140.58 kg/cm² de resistencia.

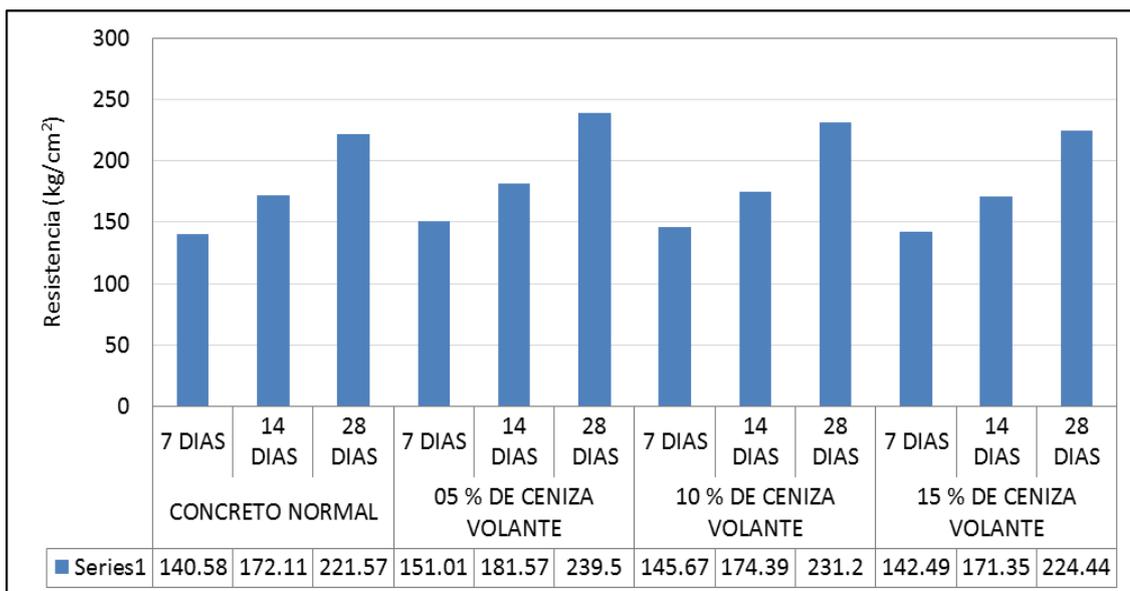


Figura Nº 3. Resistencia del concreto en función a la Dosis de ceniza volante por Días sobre lectura de resistencia.

En la figura, se observa que la proporción de diseño de mezcla para concreto en relación a la dosis de ceniza volante, correspondería la dosis de 5%, por presentar mayor resistencia durante la evaluación a los 28 días; mientras que las demás superiores al 5%, presentan valores de resistencia menores, lo cual no justifica la adición de mayor porcentaje de ceniza volante para la elaboración de concretos.

Al analizar el grafico se observado que la mayor resistencia se alcanza con la dosis de 5% de ceniza volante; por lo tanto, se deduce la proporción ideal de mezclas de los componentes para la elaboración de concreto seria lo indica en el cuadro 26.

4.2. DISCUSION DE RESULTADOS

4.2.1. RESISTENCIA DEL CONCRETO ENDURECIDO A DIFERENTES PROPORCIONES DE CENIZA VOLANTE EN LA MEZCLA DE CONCRETO

Los resultados obtenidos por dosis de ceniza volante, fueron de la siguiente forma; la dosis al 5% tuvo mayor resistencia con un promedio de 190.69 kg/cm², seguido de la dosis de ceniza volante al 10% con un promedio de 183.76 kg/cm² y la dosis de ceniza volante al 15% con un promedio de 179.43 kg/cm². En último lugar se ubica el Concreto normal (testigo) el cual tuvo menor lectura de resistencia.

Esto resultados son diferentes a lo reportado por Barrantes y Holguín (2015), quienes determinaron que el porcentaje de ceniza volante con valores de la resistencia a la compresión hasta un 20% con un valor de 361.33 kg/cm² a mayores porcentajes la resistencia disminuyo hasta un valor mínimo de 189.34 kg/cm² correspondiente al 50% de reemplazo; indicando que los resultados obtenidos determinan que hasta un 30% de reemplazo cumple con el rango de resistencia que establece la norma NTP 399.611. Además, se determinó que los mejores porcentajes de reemplazo de ceniza volante en adoquines modificados se encontraron en el rango de 10 a 30% debido a que presentan mejores resultados en la resistencia a la compresión y la absorción.

Pero, con lo indicado por Duran y Velásquez (2016), coincide con la dosis del 5% de ceniza volante como mejor dosis resistente a la compresión,

ya ellos obtuvieron que, la muestra adicionada con 5% de ceniza volante (5%CV) alcanzó una resistencia de 26,1Mpas, con lo que se puede decir, que alcanzó un 9,16% más de la resistencia esperada, lo que significa que cumplió satisfactoriamente con los resultados de resistencia esperada. Las muestras adicionada con 10% de ceniza volante (10%CV) alcanzaron una resistencia de 22,97Mpas, lo que significa que logró 95,71% de la resistencia de diseño; aunque para este caso, con el porcentaje de adición no se alcanzó la resistencia esperada, se logró alcanzar una alta resistencia. Y concluye indicando que mayores dosis de ceniza volante, no son apropiadas para reemplazar este porcentaje para concretos de alta resistencia.

4.2.2. VARIACIÓN DE LA EDAD DEL CONCRETO SOBRE LA CONSISTENCIA QUE GENERA LA CENIZA VOLANTE COMO ADICIONADO EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETOS

Los resultados obtenidos, demostraron que al evaluar la edad del concreto por días de evaluación, se tuvo que, a los 28 días, se tuvo mayor resistencia con un promedio de 229.18 kg/cm², seguido de 14 días con un promedio de 174.86 kg/cm². Y por último la evaluación a los 7 días con un promedio de 144.94 kg/cm².

Esto resultados son diferentes a lo reportado por Cifuentes y Ferrer (2006), quienes encontraron que, el esfuerzo a la compresión para la mezcla de concreto modificado (15 % de ceniza volante) a los 28 días fue de 275.22 kg/cm² (3892.6 p.s.i), representando un incremento del 2.33% comparado con la muestra de concreto normal, cuyo valor a los 28 días fue de 268.81

kg/cm² (3802 p.s.i). Los valores máximos de resistencia a la compresión, medidos a los 150 días, fueron de 278.21 kg/cm² (3935 p.s.i) para la muestra CN y de 318.44 kg/cm² (4504 p.s.i) para la muestra CM, lo cual representa un incremento del 10.85% y del 26.87% respectivamente con respecto a la resistencia promedio requerida f'_{cr} (3550 p.s.i).

Estos resultados nos dan a entender que, el aumento de resistencia continuará con la edad mientras se encuentre cemento sin hidratar, a condición de que el concreto permanezca húmedo o tenga una humedad relativa superior a aproximadamente el 80% y permanezca favorablemente la temperatura del concreto (Torre, 2004).

Por lo tanto, en muchos los proyectos donde se ha decidido construir tomando en cuenta no solo la resistencia mecánica del concreto sino la durabilidad del mismo en términos de resistencia a sales de sulfato, se ha demostrado que el concreto con ceniza volante tiene una gran ventaja sobre el concreto convencional sin ceniza. La ceniza volante que provee esta resistencia a las sales de sulfato es la ceniza clase F.

En el concreto endurecido, más la incorporación de la ceniza volante mejora la durabilidad y reduce la permeabilidad contribuyendo a la ganancia de resistencia a largo plazo del concreto. El mecanismo para impermeabilizar, consiste en que el fly ash tipo F, reacciona con el hidróxido de calcio y el hidróxido de aluminio calcio formados durante la reacción del cemento con el agua, para convertirlos en hidratos de silicato cálcico, que es el material que da adhesividad y dureza al concreto; este se precipita en los

capilares del concreto, como micro cristales muy finos tapando los poros y da como resultado, una masa de concreto que puede resistir la penetración de agua, aún bajo altas presiones hidrostáticas; es así que el porcentaje de macro poros que se forman en concretos normales se reducen al formarse micro poros debido a la presencia del fly ash tipo F y teniendo estos la propiedad de ser hidrófobos permiten que el concreto respire sin permitir la condensación de agua, finalmente este es el mecanismo que permite crear concretos con mayor durabilidad.

4.2.3. PROPORCIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONCRETO DE $f'c=210$ kg/cm².

Por los resultados obtenidos en base a resistencia a la compresión, en donde la dosis del 5% de ceniza volante al tiempo de 28 días tuvo mayor resistencia con un promedio de 239.50 kg/cm², por ello, la proporción del diseño de mezcla para un concreto de $f'c=210$ kg/cm², sería de la siguiente forma: cemento 41.44 kg, ceniza volante 1.06 kg, agregado fino 126.60 kg, agregado grueso 56.40 kg y agua 23.70 lt.

Por los resultados obtenidos con las dosis del 10 y 15% de ceniza volante, se concluye que, en el proceso de fabricación de concretos se debe tomar la precaución de que utilizar menor cantidad de cemento que la requerida, el concreto será poco resistente, por lo tanto para disminuir su cantidad en la mezcla, sin alterar sustancialmente la resistencia final del producto, es recomendable reemplazarlo total o parcialmente por otros materiales con propiedades cementantes de menor costo, uno de estos es la

puzolana entre la cual se encuentra la ceniza volante; ya que la resistencia con dosis mayores de 10% disminuye.

Asimismo Barrantes y Holguín (2015), manifiestan que, las cenizas volantes como parte del material para la fabricación de concretos, juegan un papel muy importante rellenando parcialmente los poros de la pasta de cemento y las interfases árido-pasta, lo cual contribuye a una mayor durabilidad y a una mayor resistencia a la compresión, pero la disminución de la resistencia se debe a que el exceso de la ceniza volante genera que exista un desbalance entre el cemento y la ceniza; si es excesivamente menor la cantidad de cemento dentro del adoquín no se genera suficiente cantidad de portlandita para que reaccione con la ceniza y no existiría suficiente material conglomerante para alcanzar la resistencia necesaria.

CONCLUSIONES

PRIMERO: La aplicación de diferentes proporciones de ceniza volante, influye en las propiedades mecánicas, como la resistencia, consistencia del concreto en la localidad de Nuñoa - Melgar - Puno.

SEGUNDO: En cuanto a su resistencia se ha observado que la dosis del 5% presenta mayor resistencia con un promedio de 190.69 kg/cm^2 , seguido de la dosis de ceniza volante al 10% con un promedio de 183.76 kg/cm^2 y la dosis de ceniza volante al 15% con un promedio de 179.43 kg/cm^2 . En último lugar se ubica el Concreto normal (testigo) el cual tuvo menor lectura de resistencia, por lo tanto se puede concluir que disminuye a medida que aumenta la dosis de ceniza volante.

TERCERO: de acuerdo a los resultados obtenidos, a los 28 días, se tuvo mayor resistencia con un promedio de 229.18 kg/cm^2 , seguido de 14 días con un promedio de 174.86 kg/cm^2 . Y por último la evaluación a los 7 días con un promedio de 144.94 kg/cm^2 . Se puede concluir que a mayor proporción de ceniza volante se genera descenso en la consistencia por lo tanto el concreto se vuelve más denso, sin embargo una dosis al 5% de ceniza volante, reduce la permeabilidad y mejora la durabilidad.

CUARTO: La proporción óptimo para un concreto de $f'c=210\text{kg./cm}^2$, se

encontró con 05% de ceniza volante, como límite máximo, no pudiendo añadir dosis mayores, por tanto la proporción de diseño de mezcla sería: cemento 41.44 kg, ceniza volante 1.06 kg, agregado fino 126.60 kg, agregado grueso 56.40 kg y agua 23.70 lt.

RECOMENDACIONES

- Utilizar ceniza volante como adicionado en un porcentaje de promedio de 5.0 %, respecto al diseño del concreto patrón o normal. Este porcentaje de uso está limitado de acuerdo al análisis químico de la ceniza volante.
- Tomar en consideración que en el diseño de mezclas la relación agua-cemento es importante para función de la resistencia, la durabilidad del concreto por lo cual es recomendable realizar investigaciones con diferentes relaciones de agua/cemento.
- Se recomienda que para futuras investigaciones se interesen en el reuso de estos residuos industriales como es la ceniza volante cuyos usos se pueden dar en el concreto, así como en la fabricación de cementos, tejas, cerámicos, losetas o ladrillos.
- Realizar estudios de canteras para ver las posibilidades de sustitución de agregado fino mediante el reuso de la ceniza volante.
- La ceniza volante es recomendable para concretos hidráulicos debido a que funciona como un impermeabilizante.
- Realizar investigaciones similares utilizando ceniza volante en diferentes proporciones para la estabilización de suelos.

BIBLIOGRAFIA

- Abanto F. (1997). Tecnología del concreto. Editorial San Marcos. Lima – Perú.
- ACI 116-R- (2002), Terminología del Cemento y del Concreto Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. México. D. F.
- ACI 236 - (2002), Reapproved 2002, Use Of Fly Ash In Concrete.
- American Concrete Institute (1998), Tecnología del Concreto – Capitulo Peruano.
- ASTM, C-33-03, 2003. Stándar Specification for Concrete Agregate.
- Barrantes, J.A. y Holguín, R.C. (2015). Influencia del porcentaje de reemplazo de ceniza volante por cemento, sobre la resistencia a la compresión y absorción en la fabricación de adoquines de tránsito liviano. Tesis de ingeniero de materiales. Universidad Nacional de Trujillo. Facultad de Ingeniería. Trujillo, Perú. 72 p.
- Bonilla, B. (1996). Tesis: “Estabilización de arcillas con cenizas volantes”. Bogotá 99 p. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería.
- Calleja, J. (1983). Cenizas, cementos y hormigones. p. 708-730 y 827-848.
- Cifuentes, A. y Ferrer, C.I. (2006). Análisis del comportamiento mecánico a edades tardías del concreto hidráulico con adición

de cenizas volantes de termopaipa. Tesis de ingeniero civil. Universidad Industrial De Santander. Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Bucaramanga. 197. Recuperado de web: <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/1751/2/119942.pdf>

Criado, M. (2006). Nuevos materiales cementantes basados en cenizas volantes. Monografía del Instituto de Ciencias de la Construcción, N° 413, pág. 11-49.

Duran, N.P. y Velásquez, N. (2016). Evaluación de la aptitud de concretos, reemplazando parcialmente el cemento portland por cenizas volantes y cenizas de bagazo de caña de azúcar. Tesis de Ingeniero Civil. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña. Facultad de Ingenierías. Ocaña, Colombia. 247 p. Recuperado de web: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1227/1/28818.pdf>

García, C. (2003). Reutilización de cenizas de centrales térmicas. Edición 23. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, pág. 43-46.

Giraldo, M. (2006). Evolución mineralógica del cemento portland durante el proceso de hidratación. Vol 73, N° 148, pág. 69-81.

Ibañez, V. (2009). Métodos estadísticos. Editorial universitaria. Primera edición. Puno, Perú. 582 p.

Laura, S. (2006), Diseño de Mezcla de concreto. Universidad Nacional, Facultad de ingeniería Civil, del Altiplano. 19 paginas

- Neville, A.M. Brooks J.J. (1998), Tecnología del Concreto, Editorial Trillas, Mexico D. F.
- Molina, O. (2008). Tesis Doctoral: Influencia de las cenizas volantes como sustituto parcial del cemento Pórtland en la durabilidad del hormigón. E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos (UPM).
- Moreno, I. (2002). Tesis: Valoración de cenizas volantes para la síntesis de zeolitas mediante extracción de sílice y conversión directa, aplicaciones ambientales. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.
- Olivares E. A, (2003), Hormigones Autocompactables. Capítulo 1. "Tecnología, propiedades Generales y realizaciones con Hormigon Autocompactable, Editorial EDITAN S.A, Sevilla,
- Quiroz M. R. (2005). Tesis: Evaluación energética y económica de la central térmica a carbón Ilo21. Lima - Perú.
- Rivva E. (2008). Materiales para el Concreto. Primera edición, Instituto de la Construcción y Gerencia, Lima-Perú.
- Reglamento nacional de Edificaciones (2004), NTE E.060- Concreto Armado, Lima-Perú.
- Rodríguez S. J. (1988). Empleo de las cenizas volantes en la fabricación de los hormigones Revista de Obras Públicas, profesor asociado del departamento de estructuras de la edificación, en la Escuela Superior de arquitectura de Madrid.
- Spiegel R. (1999). Teoría y Problemas de estadística. Tercera edición. Editorial McGraw-Hill.

Torres, A. (2004). Curso Básico de Tecnología del Concreto para Ingenieros Civiles. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima. Perú.

Umaña, J.C. (2002). Tesis: Síntesis de zeolitas a partir de cenizas volantes de centrales termoeléctricas de carbón, Universidad Politécnica de Cataluña, pág. 1-1 1.

ANEXOS

Estos resultados de los anexos son todos obtenidos del laboratorio de mecánica de suelos y concreto del GEOLUZMAR – Ayaviri - Región - Puno.

Anexo N° 1. Ensayo de compresión de probetas cilíndrica del concreto normal

N°	PROBETAS (TESTIGOS Y/O BRIQUETAS)	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD TESTIGOS (DIAS)	LECTURA DE DIAL (en Kg/cm ²)	DIAMETRO (ø)	AREAS (Cm ²)	RESISTENCIA (Kg/Cm ²)	F´C Kg/Cm ²	%
1	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	11/08/2016	7 DIAS	24450	15	176.72	138.36	210	65.88
2	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	11/08/2016	7 DIAS	25000	15	176.72	141.47	210	67.37
3	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	11/08/2016	7 DIAS	24947	15	176.72	141.23	210	83.83
4	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	11/08/2016	7 DIAS	25120	15	176.72	142.15	210	67.69
5	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	11/08/2016	7 DIAS	24681	15	176.72	139.67	210	66.51
6	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	18/08/2016	14 DIAS	30864	15	176.72	174.65	210	83.17
7	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	18/08/2016	14 DIAS	29747	15	176.72	168.31	210	80.15
8	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	18/08/2016	14 DIAS	30125	15	176.72	170.47	210	81.18
9	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	18/08/2016	14 DIAS	30230	15	176.72	171.07	210	81.46
10	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	18/08/2016	14 DIAS	31110	15	176.72	176.05	210	83.83
11	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	1/09/2016	28 DIAS	40000	15	176.72	226.35	210	107.79
12	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	1/09/2016	28 DIAS	37980	15	176.72	214.92	210	102.34
13	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	1/09/2016	28 DIAS	38795	15	176.72	219.53	210	104.54
14	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	1/09/2016	28 DIAS	39158	15	176.72	221.59	210	105.52
15	CONCRETO NORMAL	4/08/2016	1/09/2016	28 DIAS	39845	15	176.72	225.48	210	107.37

Anexo Nº 2. Ensayo de compresión de probetas cilíndricas con 5 % de ceniza volante

Nº	PROBETAS (TESTIGOS Y/O BRIQUETAS)	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	LECTURA DE DIAL	DIAMETRO (ø)	AREAS (Cm ²)	RESISTENCIA (Kg/Cm ²)	F´C Kg/Cm ²	%
1	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	12/08/2016	7 DIAS	26000	15	176.72	147.13	210	70.06
2	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	12/08/2016	7 DIAS	26354	15	176.72	149.13	210	71.02
3	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	12/08/2016	7 DIAS	27156	15	176.72	153.67	210	73.18
4	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	12/08/2016	7 DIAS	26834	15	176.72	151.85	210	72.31
5	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	12/08/2016	7 DIAS	27087	15	176.72	153.28	210	72.99
6	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	19/08/2016	14 DIAS	31700	15	176.72	179.38	210	85.42
7	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	19/08/2016	14 DIAS	32120	15	176.72	181.76	210	86.55
8	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	19/08/2016	14 DIAS	32570	15	176.72	184.31	210	87.77
9	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	19/08/2016	14 DIAS	31986	15	176.72	181	210	86.19
10	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	19/08/2016	14 DIAS	32052	15	176.72	181.38	210	86.37
11	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	2/09/2016	28 DIAS	42730	15	176.72	241.8	210	115.14
12	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	2/09/2016	28 DIAS	42445	15	176.72	240.25	210	114.4
13	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	2/09/2016	28 DIAS	42120	15	176.72	238.25	210	113.5
14	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	2/09/2016	28 DIAS	42357	15	176.72	239.69	210	114.14
15	CONCRETO CON 5 % DE CENIZA VOLANTE	5/08/2016	2/09/2016	28 DIAS	41968	15	176.72	237.49	210	113.09

Anexo N° 3. Ensayo de compresión de probetas cilíndricas con 10 % de ceniza volante

N°	PROBETAS (TESTIGOS Y/O BRIQUETAS)	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	LECTURA DE DIAL	DIAMETRO (o)	AREAS (Cm ²)	RESISTENCIA (Kg/Cm ²)	F´C Kg/Cm ²	%
1	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	13/08/2016	7 DIAS	25674	15	176.72	145.28	210	69.18
2	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	13/08/2016	7 DIAS	25348	15	176.72	143.44	210	68.3
3	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	13/08/2016	7 DIAS	26200	15	176.72	148.26	210	70.6
4	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	13/08/2016	7 DIAS	25546	15	176.72	144.05	210	68.6
5	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	13/08/2016	7 DIAS	26035	15	176.72	147.33	210	70.16
6	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	20/08/2016	14 DIAS	30568	15	176.72	172.98	210	82.37
7	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	20/08/2016	14 DIAS	31469	15	176.72	178.08	210	84.8
8	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	20/08/2016	14 DIAS	31200	15	176.72	176.56	210	84.07
9	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	20/08/2016	14 DIAS	30587	15	176.72	173.09	210	82.42
10	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	20/08/2016	14 DIAS	30265	15	176.72	171.26	210	81.55
11	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	3/09/2016	28 DIAS	41357	15	176.72	234.03	210	111.44
12	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	3/09/2016	28 DIAS	40268	15	176.72	227.87	210	108.51
13	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	3/09/2016	28 DIAS	41203	15	176.72	233.16	210	111.03
14	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	3/09/2016	28 DIAS	41098	15	176.72	232.57	210	110.75
15	CONCRETO CON 10% DE CENIZA VOLANTE	6/08/2016	3/09/2016	28 DIAS	40357	15	176.72	228.37	210	108.75

Anexo N° 4. Ensayo de compresión de probetas cilíndricas con 15 % de ceniza volante

N°	PROBETAS (TESTIGOS Y/O BRIQUETAS)	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	LECTURA DE DIAL	DIAMETRO (o)	AREAS (Cm ²)	RESISITENCIA (Kg/Cm ²)	F´C Kg/Cm ²	%
1	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	14/08/2016	7 DIAS	25164	15	176.72	142.4	210	67.81
2	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	14/08/2016	7 DIAS	24680	15	176.72	139.66	210	66.5
3	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	14/08/2016	7 DIAS	25346	15	176.72	143.43	210	68.3
4	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	14/08/2016	7 DIAS	25730	15	176.72	145.6	210	69.33
5	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	14/08/2016	7 DIAS	24980	15	176.72	141.36	210	67.31
6	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	21/08/2016	14 DIAS	29354	15	176.72	166.11	210	79.1
7	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	21/08/2016	14 DIAS	30125	15	176.72	170.47	210	81.18
8	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	21/08/2016	14 DIAS	28870	15	176.72	183.37	210	77.8
9	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	21/08/2016	14 DIAS	29657	15	176.72	167.82	210	79.92
10	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	21/08/2016	14 DIAS	29859	15	176.72	168.97	210	80.46
11	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	4/09/2016	28 DIAS	39876	15	176.72	225.65	210	107.45
12	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	4/09/2016	28 DIAS	38590	15	176.72	218.37	210	103.99
13	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	4/09/2016	28 DIAS	39715	15	176.72	224.74	210	107.02
14	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	4/09/2016	28 DIAS	40020	15	176.72	226.47	210	107.84
15	CONCRETO CON 15% DE CENIZA VOLANTE	7/08/2016	4/09/2016	28 DIAS	40105	15	176.72	226.95	210	108.07

Anexo N° 5. Valores de resistencia para un concreto normal (D0).

Espécimen	N°	f'c	Propiedades Mecánicas		%	% Promedio		
		(kg/cm ²)	Dial	Resistencia (kg/cm ²)				
Grupo de Muestras Normal	7 Días	1	210	24450	138.36	140.58	65.88	70.26
		2	210	25000	141.47		67.37	
		3	210	24947	141.23		83.83	
		4	210	25120	142.15		67.69	
		5	210	24681	139.67		66.51	
	14 Días	1	210	30864	174.65	172.11	83.17	81.96
		2	210	29747	168.31		80.15	
		3	210	30125	170.47		81.18	
		4	210	30230	171.07		81.46	
		5	210	31110	176.05		83.83	
	28 Días	1	210	40000	226.35	216.39	107.79	105.51
		2	210	37980	214.92		102.34	
		3	210	38795	219.53		104.54	
		4	210	39158	221.59		105.52	
		5	210	39845	225.48		107.37	

Fuente: LABORATORIO DE GEOTECNIA MECANICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS – GEOLUZMAR E.I.E.L. – AYAVIRI- MELGAR - PUNO

Anexo N° 6. Valores de resistencia para un concreto con 5 % de ceniza volante (D1).

Especímen	N°	f'c	Propiedades mecánicas		%	% Promedio		
		(kg/cm ²)	Dial	Resistencia (kg/cm ²)				
Grupo de Muestras (5 % de Ceniza Volante)	7 Días	1	210	26000	147.13	151.01	70.06	71.91
		2	210	26354	149.13		71.02	
		3	210	27156	153.67		73.18	
		4	210	26834	151.85		72.31	
		5	210	27087	153.28		72.99	
	14 Días	1	210	31700	179.38	181.57	85.42	86.46
		2	210	32120	181.76		86.55	
		3	210	32570	184.31		87.77	
		4	210	31986	181.00		86.19	
		5	210	32052	181.38		86.37	
	28 Días	1	210	42730	241.80	239.50	115.14	114.05
		2	210	42445	240.25		114.4	
		3	210	42120	238.25		113.5	
		4	210	42357	239.69		114.14	
		5	210	41968	237.49		113.09	

Fuente: LABORATORIO DE GEOTECNIA MECANICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS – GEOLUZMAR E.I.E.L. – AYAVIRI- MELGAR - PUNO

Anexo N° 7. Valores de resistencia para un concreto con 10 % de ceniza volante (D2).

Espécimen	N°	f'c	Propiedades mecánicas		%	% Promedio	
		(kg/cm ²)	Dial	Resistencia (kg/cm ²)			
Grupo de Muestras (10 % de Ceniza Volante)	7 Días	1	210	25674	145.28	145.672	69.18
		2	210	25348	143.44		68.30
		3	210	26200	148.26		70.60
		4	210	25546	144.05		68.60
		5	210	26035	147.33		70.16
	14 Días	1	210	30568	172.98	174.394	82.37
		2	210	31469	178.08		84.80
		3	210	31200	176.56		84.07
		4	210	30587	173.09		82.42
		5	210	30265	171.26		81.55
	28 Días	1	210	41357	234.03	231.2	111.44
		2	210	40268	227.87		108.51
		3	210	41203	233.16		111.03
		4	210	41098	232.57		110.75
		5	210	40357	228.37		108.75

Fuente: LABORATORIO DE GEOTECNIA MECANICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS – GEOLUZMAR E.I.E.L. – AYAVIRI- MELGAR - PUNO

Anexo N° 8. Valores de resistencia para un concreto con 15 % de ceniza volante (D3).

Espécimen	N°	f'c	Propiedades mecánicas		%	% Promedio		
		(kg/cm ²)	Dial	Resistencia (kg/cm ²)				
Grupo de Muestras (15 % de Ceniza Volante)	7 Días	1	210	25164	142.40	142.49	67.81	67.85
		2	210	24680	139.66		66.50	
		3	210	25346	143.43		68.30	
		4	210	25730	145.60		69.33	
		5	210	24980	141.36		67.31	
	14 Días	1	210	29354	166.11	173.42	79.10	79.69
		2	210	30125	170.47		81.18	
		3	210	28870	183.37		77.80	
		4	210	29657	167.82		79.92	
		5	210	29859	168.97		80.46	
	28 Días	1	210	39876	225.65	224.44	107.45	106.87
		2	210	38590	218.37		103.99	
		3	210	39715	224.74		107.02	
		4	210	40020	226.47		107.84	
		5	210	40105	226.95		108.07	

Fuente: LABORATORIO DE GEOTECNIA MECANICA DE SUELOS, CONTROL DE CALIDAD, CONCRETO Y PAVIMENTOS – GEOLUZMAR E.I.E.L. – AYAVIRI- MELGAR - PUNO

Anexo N° 9. Características físicas de los agregados

CANTERA RIO NUÑO A	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Tamaño máximo nominal	1"	-----
Peso específico	2,59	2,05
Peso unitario suelto (kg/m ³)	2,006	1,972
Peso unitario compactado(kg/m ³)	2,087	2,128
Contenido de humedad %	4.18	6.97
Absorción %	1.15	3.47
Módulo de fineza	-----	2.70

Anexo Nº 10. Panel fotográfico



**Figura Nº 4. Planta de generación termoeléctrica en Ilo (Moquegua)
Engie – Energy - Ilo**



Figura Nº 5. Cantera de Agregados de la localidad de Nuñoa



Figura N° 6. Agregados Grueso, Agregado Fino, cemento Portland Tipo IP, Ceniza Volante para su preparación y proporcionamiento de la mezcla



Figura N° 7. Pesado de Ceniza Volante para Agregar al cemento Portland Tipo IP



Figura Nº 8. Adición de la Ceniza Volante en la elaboración de Concreto



Figura Nº 9. Elaboración de Briquetas, en diferentes proporciones de ceniza volante



Figura 10. Procedo de golpeo (25 golpes) para el asentado



Figura Nº 11. Muestra de una Briqueta



Figura 12. Briquetas en proceso de evaluación



Figura Nº 13. Equipo para rotura de Briquetas



Figura N° 14. Proceso de evaluación de briquetas



Figura N° 15. Rotura realizada en una briqueta



Figura Nº 16. Ubicación de la cantera de agregados rio Nuñoa