

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON  
ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO  
SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND  
PUZOLANICO IP EN LA ZONA ALTIPLÁNICA”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

LENCINAS VALERIANO FREDD CRISTIAN

INCAHUANACO CALLATA BECKER IRAN

**PUNO – PERÚ**

2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL  
"EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE  
TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO  
IP EN LA ZONA ALTIPLÁNICA"

# TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

## INGENIERO CIVIL

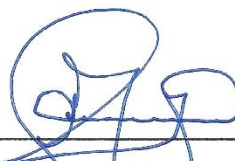
PRESENTADO POR:

LENCINAS VALERIANO FREDD CRISTIAN

INCAHUANACO CALLATA BECKER IRAN

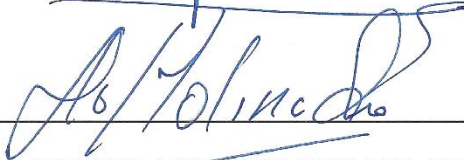
APROBADO POR:

PRESIDENTE:



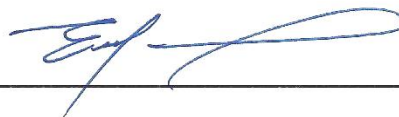
ING. EMILIO CASTILLO ARONI

PRIMER MIEMBRO:



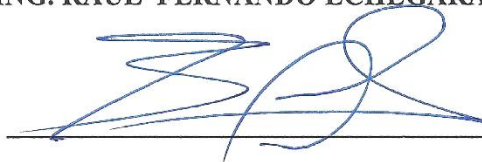
ING. EMILIO AUGUSTO MOLINA CHAVEZ

SEGUNDO MIEMBRO:



ING. RAUL FERNANDO ECHEGARAY CHAMBI

DIRECTOR DE TESIS:



ING. SAMUEL HUAQUISTO CACERES

Área:

Construcciones

Tema:

La tecnología de los materiales en la construcción

Línea de Investigación:

Construcciones y gerencia

## DEDICATORIA

*A Dios por su gracia y bendiciones.*

*A mis queridos padres: Román Lencinas y Teresa Valeriano, quien con sus sabios consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera profesional.*

*A mis hermanos Karen Edith y Juan Ramón quienes con su apoyo, consejos y enseñanzas me ayudaron a seguir adelante, y demostrarme que la familia es lo más importante que uno pueda tener.*

*A mi primo Rajib Arcaya, por ser un guía en mi camino y enseñarme cada día, lo hermoso y responsable que implica ser un ingeniero civil.*

*A mis amigos y/o promoción de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, en especial a mi compañero Becker Iran, por compartir juntos la alegría y el fruto de una larga investigación.*

***Fredd Cristian.***

***Becker Iran.***

*Con mucho cariño y gratitud a mi madre Agripina, por su apoyo permanente e infatigable esfuerzo por hacer de mí, una mejor persona cada día y por su incommensurable esfuerzo en dejarme la profesión como la mejor herencia.*

*A mis hermanos Walter y Edwin Ángel, quienes han vivido de cerca los distintos procesos de mi vida tanto en los momentos felices y tristes que todo ser humano experimenta en el camino a seguir como un destino.*

*A todos ellos....., Muchas Gracias.*

## AGRADECIMIENTO

A nuestra institución, Universidad Nacional del Altiplano, y a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por habernos dado la oportunidad de escalar un peldaño más, en el campo del conocimiento.

A nuestros jurados, Ing. Emilio Castillo Aroni, Ing. Emilio Augusto Molina Chavez e Ing. Raul Fernando Echegaray Chambi; por sus sabios consejos e inculcación de esfuerzo, respeto y disciplina.

A nuestro Director y/o Asesor de Tesis, Ing. Samuel Huaquisto Caceres, por el apoyo incesante en la elaboración y concepción del presente proyecto.

Al laboratorio de Construcciones de nuestra Escuela Profesional y a la Escuela Profesional de Ingeniería Química, por su constante apoyo y colaboración en la realización de este trabajo experimental.

A nuestros compañeros y amigos de promoción, por compartir sus conocimientos, experiencias y anécdotas con nosotros. Y a todos los demás colaboradores que de forma directa e indirecta ayudaron en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

## ***INDICE***

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>16</b>
1.1. Objetivo General.....	17
1.2. Objetivos Específicos.....	17
<b>2. REVISIÓN DE LA LITERATURA .....</b>	<b>19</b>
2.1. Generalidades.....	19
2.2. El concreto.....	21
2.3. Ceniza de paja de trigo.....	21
2.3.1. Composición química:.....	23
2.3.2. Composición física .....	24
2.3.3. Reacción química de las cenizas con los componentes del cemento. ....	25
2.4. Cemento.....	26
2.4.1. Cemento portland normal.....	27
2.5. Agua.....	36
2.5.1. Requisitos que debe cumplir el agua.....	37
2.6. Agregados .....	38
2.6.1. Agregado fino .....	39
2.6.2. Agregado grueso.....	46
2.7. Concreto en estado fresco.....	56
2.7.1. Trabajabilidad .....	56
2.8. Concreto en estado endurecido.....	59
2.8.1. Resistencia a la compresión .....	59
2.8.2. Desarrollo de la resistencia a compresión del concreto.....	60
2.9. Tratamiento estadístico .....	60
2.9.1. Prueba de hipótesis .....	61
2.9.2. Selección del test .....	61

2.9.3.	Comprobación de la normalidad de la variable .....	62
2.9.4.	Distribución de frecuencias .....	63
2.9.5.	Cálculo del estadístico F .....	64
2.9.6.	Distribución t de Student .....	65
<b>3.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>70</b>
<b>3.1.</b>	<b>Procedencia y ensayos de los Materiales a utilizar en la investigación .....</b>	<b>70</b>
3.1.1.	Cantera .....	70
3.1.2.	Agregado fino .....	71
3.1.3.	Agregado grueso .....	81
3.1.4.	Ceniza de paja de trigo utilizada .....	89
3.1.5.	Cemento utilizado .....	93
3.1.6.	Agua .....	93
<b>3.2.</b>	<b>Preparación Del Concreto.....</b>	<b>93</b>
3.2.1.	Método de diseño del ACI .....	94
3.2.2.	Elaboración de testigos .....	102
3.2.3.	Proceso de curado de testigos .....	105
<b>3.3.</b>	<b>Análisis Estadístico (prueba de Hipótesis) .....</b>	<b>107</b>
3.3.1.	Prueba de hipótesis para la resistencia a la compresión del concreto .....	107
3.3.2.	Prueba de hipótesis para la trabajabilidad del concreto fresco.....	113
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>119</b>
<b>4.1.</b>	<b>Resultados .....</b>	<b>119</b>
4.1.1.	Trabajabilidad .....	119
4.1.2.	resistencia a la compresión .....	121
<b>4.2.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>126</b>
4.2.1.	Generalidades.....	126
4.2.2.	Agregados.....	127
4.2.3.	Propiedades del concreto en estado fresco.....	129

4.2.4. Propiedades del concreto en estado endurecido .....	130
4.2.5. Análisis de costo: .....	133
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>138</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>140</b>
<b>7. REFERENCIAS.....</b>	<b>142</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>145</b>
<b>ANEXO A: .....</b>	<b>145</b>
ANEXO A-1: CERTIFICADO DE LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES. ....	145
ANEXO A-2: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO. ....	146
ANEXO A-3: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO. ....	147
ANEXO A-4: PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS.....	148
ANEXO A-4: PESO UNITARIO DE AGREGADOS. ....	149
ANEXO A-4: CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS.....	150
<b>ANEXO B: ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....</b>	<b>151</b>
<b>ANEXO C:.....</b>	<b>156</b>
ANEXO C-1: ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CENIZA DE PAJA DE TRICO – LABORATORIOS ANALÍTICOS DEL SUR.....	156
ANEXO C-2: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE MINERALES: LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA UNA - PUNO.....	157
ANEXO C-3: ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN. ....	159
<b>ANEXO D: METODO DEL PESO EQUIVALENTE .....</b>	<b>160</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Curvas envolventes para el agregado fino, según norma NTP 400.037.....	42
Figura 2.2. Equipo para prueba de consistencia .....	58
Figura 2.3. Prueba de consistencia .....	59
Figura 2.4. Curva de Distribución para hipótesis de dos colas $H1: \mu_{XCPT} \neq \mu_{XC} \rightarrow H0: \mu_{XCPT} = \mu_{XC}$ .....	66
Figura 2.5. Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la derecha $H1: \mu_{XCPT} > \mu_{XC} \rightarrow H0: \mu_{XCPT} \leq \mu_{XC}$ .....	67
Figura 2.6. Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la izquierda $H1: \mu_{XCPT} < \mu_{XC} \rightarrow H0: \mu_{XCPT} \geq \mu_{XC}$ .....	67
Figura 3.1 Colocado del material de la Cantera de Cutimbo.....	70
Figura 3.2 Secado del material para la separación de Agregado Fino y Agregado Grueso. ....	71
Figura 3.3. Se observa el del agregado fino al momento de realizar el cuarteo. ....	72
Figura 3.4 Se observa el tamizado del agregado fino. ....	73
Figura 3.5 Se observa el tamizado del agregado fino .....	73
Figura 3.6 Curva granulométrica del agregado fino.....	74
Figura 3.7 Contenido de humedad del agregado fino.....	75
Figura 3.8. Arena superficialmente seca después del apisonado. ....	77
Figura 3.9 Enrasado del picnómetro con material incluido. ....	78
Figura 3.10 Control de temperatura del agua.....	78
Figura 3.11. Enrasado y pesado del recipiente con la muestra para el cálculo del Peso Unitario Suelto.....	80
Figura 3.12. Curva granulométrica del agregado grueso .....	82
Figura 3.13.Zarandeo del agregado grueso. ....	83
Figura 3.14.Se observa el tamizado del agregado Grueso. ....	83
Figura 3.15. Escurrimiento del agua y esparcido del agregado grueso sobre la franela. ....	86
Figura 3.16. Control de temperatura del agua.....	86
Figura 3.17. Pesado de agregado grueso al recipiente para el cálculo del Peso Unitario Suelto y compactado. ....	88



Figura 3.18. Recojo de la Paja de Trigo.....	89
Figura 3.19. Momento de Combustión de la paja de trigo. ....	90
Figura 3.20. (Ceniza) Producto de la combustión de la paja de trigo.....	90
Figura 3.21. Evaluación de la Emisión de Gases al momento de la combustión. ....	92
Figura 3.22. Colocado de Tubos de PVC para adaptar a los moldes disponibles en laboratorio.....	103
Figura 3.23 Mezclado del concreto.....	104
Figura 3.24 Llenado de moldes y apisonado de mezcla de concreto en tres capas iguales. ....	104
Figura 3.25. Moldes vaciados con concreto, para su posterior desencofrado luego de 24 horas de vaciado.....	105
Figura 3.26 Poza para curado. ....	105
Figura 3.27 Colocado de las Primeras muestras a la poza. ....	106
Figura 3.28 Gráfica de la distribución $t$ para $\alpha = 0.05$ y 18 grados de libertad.....	111
Figura 3.29 Gráfica del estadístico $t$ para $\alpha = 0.05$ y 2 grados de libertad.....	117
Figura 4.1 Medición del SLUMP en diferentes porcentajes de Cemento y Ceniza.....	120
Figura 4.2 Rotura de briquetas de 6"x12" y de 4"x8" respectivamente. ....	126
Figura 4.3 Distribución de Trabajabilidad del concreto Fresco.....	130
Figura 4.4 Variación de asentamiento según porcentajes de ceniza de paja de trigo .....	130
Figura 4.5. Evolución de la Resistencia a Compresión obtenidos para diferentes porcentajes de Ceniza de paja de trigo.....	132
Figura 4.6 Variación del concreto en porcentajes. ....	137

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 . Superficie Sembrada Departamental (Ha) .....	17
Tabla 2.1 Requerimientos químicos de las Cenizas. ....	24
Tabla 2.2 Características físicas que deben cumplir los diferentes tipos de cenizas.....	24
Tabla 2.3 Reacciones de Hidratación de los Silicatos del Cemento Portland .....	26
Tabla 2.4 Requisitos para el agua de mezcla. ....	37
Tabla 2.5 Requisitos granulométricos para el agregado fino.....	41
Tabla 2.6. Límites granulométricos para el agregado grueso .....	49
Tabla 2.7. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso.....	52
Tabla 2.8. Clases de mezclas y su asentamiento.....	57
Tabla 2.9. Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días.....	60
Tabla 2.10. Valores de Dispersión en el control de concreto.....	64
Tabla 3.1 Cálculo del contenido de humedad del agregado fino. ....	75
Tabla 3.2. Datos obtenidos en laboratorio para el cálculo del peso específico y absorción del agregado fino.....	78
Tabla 3.3. Resultados peso específico (gr/cm <sup>3</sup> ) y % de absorción del agregado fino.....	79
Tabla 3.4. Resultados del Peso Unitario Suelto del agregado fino. ....	80
Tabla 3.5. Resultados del Peso Unitario Compactado del agregado fino. ....	80
Tabla 3.6. Cálculo del contenido de humedad del agregado grueso. ....	84
Tabla 3.7. Datos obtenidos en laboratorio para el cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso. ....	86
Tabla 3.8. Resultados Peso específico (gr/cc) y % de absorción del agregado grueso. ....	87
Tabla 3.9. Resultados del Peso Unitario Suelto del agregado Grueso. ....	88
Tabla 3.10. Resultados del Peso Unitario Compactado del agregado grueso. ....	88
Tabla 3.11. Análisis químico de la ceniza de paja de trigo utilizada .....	91
Tabla 3.12. Características físicas y químicas de la ceniza de paja de Trigo.....	91
Tabla 3.13. Propiedades físicas y químicas de la ceniza de paja de trigo.....	92

Tabla 3.14. Propiedades físicas y químicas de la ceniza de paja de trigo.....	92
Tabla 3.15 Características físicas de los materiales para el diseño. ....	93
Tabla 3.16 Resistencia a la compresión promedio.....	94
Tabla 3.17 Volumen Unitario de agua .....	95
Tabla 3.18 Contenido de Aire atrapado.....	96
Tabla 3.19 Relación Agua - Cemento por resistencia.....	96
Tabla 3.20 Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto .....	97
Tabla 3.21. Resumen de materiales en peso. ....	100
Tabla 3.22. Resumen de materiales por el método de peso equivalente.....	102
Tabla 3.22 Cálculo del estadístico de prueba $t_p$ para el concreto a una edad de 28 días .....	110
Tabla 3.23 Decisión de la hipótesis $H_0$ con el $t_p$ para el concreto a 28 días de edad. ....	112
Tabla 3.24 Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student .....	113
Tabla 3.25 Cálculo del estadístico de prueba $t_p$ para el concreto fresco. ....	116
Tabla 3.26. Decisión de la hipótesis $H_0$ con el $t_p$ para el concreto fresco.....	117
Tabla 4.1. Medida de asentamientos tomados en diferentes fechas de vaciado. ....	119
Tabla 4.2 Resistencia a la compresión 100%(Cemento)+0%(Ceniza de paja de Trigo).....	121
Tabla 4.3 Resistencia a la compresión 97.5%(Cemento)+2.5%(Ceniza de paja de Trigo).....	122
Tabla 4.4 Resistencia a la compresión 95%(Cemento)+5%(Ceniza de paja de Trigo).....	123
Tabla 4.5 Resistencia a la compresión 95%(Cemento)+5%(Ceniza de paja de Trigo).....	124
Tabla 4.6 Resistencia a la compresión 90%(Cemento)+10%(Ceniza de paja de Trigo).....	125
Tabla 4.7. Resultados de los ensayos químicos de la ceniza de paja de trigo. ....	128
Tabla 4.8. Resumen de resultados de ensayos de Trabajabilidad .....	129
Tabla 4.9. Resistencia a la compresión promedio obtenido .....	131
Tabla 4.10. Costo del concreto patrón.....	135
Tabla 4.11. Costo del concreto: 97.5% cemento + 2.5% ceniza de paja de trigo.....	135
Tabla 4.12. Costo del concreto: 95% cemento + 5% ceniza de paja de trigo.....	135
Tabla 4.13. Costo del concreto: 92.5% cemento + 7.5% ceniza de paja de trigo.....	136

Tabla 4.14. Costo del concreto: 90% cemento + 10% ceniza de paja de trigo..... 136

Tabla 4.15. Resumen del costo del concreto (Sólo materiales) para diferentes dosificaciones:..... 136



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>PH</b>	: Medida de acides o alcalinidad de una sustancia.
<b>PES</b>	: Peso específico de los sólidos.
<b>PESSS</b>	: Peso específico de solidos saturados con superficie seca.
<b>PUS</b>	: Peso unitario suelto
<b>NTP</b>	: Norma técnica peruana.
<b>ASTM</b>	: Siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales.
<b>S-C-H</b>	: Silicato de calcio hidratado.
<b>IP</b>	: Cemento Puzolánico.
<b>F'c</b>	: Resistencia de diseño a la compresión.
<b>F'cr</b>	: Resistencia promedio de diseño a la compresión.
<b>W%</b>	: Contenido de humedad.
<b>a/c</b>	: Relación agua/cemento para diseño de mezclas.
<b>C°</b>	: Definición conocida al Concreto.
<b>T°</b>	: Temperatura.
<b>°C</b>	: Grados centígrados.
<b>V</b>	: Volumen.
<b>u</b>	: Media aritmética.
<b>n</b>	: Número de pruebas realizadas.
<b><math>\sigma</math></b>	: Desviación estandar.
<b><math>\sigma^2</math></b>	: Varianza.
<b>Zo</b>	: Estadístico de prueba.
<b>Ho</b>	: Hipótesis nula.
<b>H1</b>	: Hipótesis alternativa.
<b>TMN</b>	: Tamaño máximo nominal

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó esencialmente en el laboratorio de construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Altiplano - Puno; con el apoyo y servicio del laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Química de la misma Universidad y los servicios de la empresa “Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.” entre los meses de Junio y Diciembre del 2016, con el propósito principal de evaluar la resistencia a la compresión, trabajabilidad (asentamiento “slump”) del concreto fresco, propiedades de la ceniza de paja de trigo y su impacto ambiental al momento de la incineración, y por último el análisis económico con el uso de esta puzolana. Al realizar los ensayos de Resistencia a la Compresión (característica mecánica principal del concreto), se obtuvo que, con un contenido entre **2.5% y 5%**, de ceniza de paja de trigo como sustituto en peso del cemento Portland Puzolánico IP; las Resistencias a la Compresión son semejantes a la del concreto Patrón  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> y un slump (asentamiento) de 2.6”-2.1” (poca trabajabilidad). Por lo que la ceniza de paja de trigo actúa como sustituto del cemento Portland Puzolánico IP en un porcentaje de **2.5%-5%**, reduciendo su trabajabilidad a un slump de **2.6”-2.1”** respectivamente, y obteniendo valores de resistencia a la compresión semejantes a la del concreto patrón. Se realizaron ensayos comparativos entre el concreto patrón con una resistencia de  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y un slump de 3.2” (trabajable), sin inclusión de la ceniza de paja de trigo; y un concreto con contenido de ceniza de paja de trigo en diferentes porcentajes (2.5%, 5%, 7.5%, 10%) como sustituto en peso del cemento Portland Puzolánico IP. Se utilizaron testigos de concreto de 4” de diámetro con 8” de altura y de 6” de diámetro con 12” de altura; las propiedades de los testigos de concreto fueron observadas a las edades de 7, 14 y 28 días; con un curado a una temperatura promedio de 13°C (temperatura del agua y del medio normal en nuestra zona).

### **PALABRAS CLAVES:**

Puzolanas - Ceniza de paja de Trigo – Resistencia a la compresión – Trabajabilidad – Concreto.

## ABSTRACT

The present investigation was carried out essentially in the construction laboratory of the Professional School of Civil Engineering of the National University of the Altiplano - Puno; With the support and service of the laboratory of the Professional School of Chemical Engineering of the same University and the services of the company "Analytical Laboratories of the South EIRL" between the months of June and December of 2016, with the main purpose of evaluating the resistance to (Slump settlement) of fresh concrete, properties of wheat straw ash and its environmental impact at the time of incineration, and finally the economic analysis with the use of this pozzolana. When carrying out Compressive Strength tests (main mechanical characteristic of concrete), it was obtained that, with a content between 2.5% and 5%, of wheat straw ash as a substitute in weight of Portland cement Puzolánico IP; Compressive Strengths are similar to those of the concrete Standard  $f_c = 210 \text{ Kg} / \text{cm}^2$  and a slump 2.6 "-2.1" (low workability). As a result, the wheat straw ash acts as a substitute for the Portland Puzolanic Portland cement in a percentage of 2.5% -5%, reducing its workability to a slump of 2.6 "-2.1" respectively, and obtaining similar compressive strength values To that of the concrete pattern. Comparative tests were performed between the standard concrete with a resistance of  $f_c = 210 \text{ kg} / \text{cm}^2$  at 28 days and a slump of 3.2 "(workable), without inclusion of wheat straw ash; And a concrete with ash content of wheat straw in different percentages (2.5%, 5%, 7.5%, 10%) as substitute in weight of Portland cement Puzolánico IP. 4 "diameter concrete witnesses with 8" high and 6 "diameter with 12" high were used; The properties of the concrete cores were observed at the ages of 7, 14 and 28 days; With a cure at an average temperature of  $13^\circ \text{C}$  (water temperature and average temperature in our area).

### KEYWORDS:

Puzolanas - Wheat straw Ash - Compressive strength - Workability - Concrete.



## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCIÓN.

El cemento Portland es un material que se utiliza ampliamente en la construcción de viviendas, puentes, vías, entre otras aplicaciones. En la actualidad existe un notable interés en la búsqueda de materiales cementantes que permitan mejorar la resistencia mecánica, la respuesta al ataque de los ácidos, y que favorezcan ciertas propiedades funcionales del concreto como la conductividad eléctrica, el apantallamiento contra la radiación electromagnética, y la radiación ionizada, entre otras. De otra parte, con el fin de reducir costos en la producción del cemento, reutilizar desechos industriales y la búsqueda de cementos con características especiales, se viene proponiendo la adición de algunos de estos mismos desechos para aprovechar la naturaleza puzolánica que algunos presentan. (Mafla, 2009).

La producción nacional de trigo creció hasta los años del 2013 una tasa promedio anual del 1.8%, reveló un reporte de la Sociedad Nacional de Industrias (SNI), elaborado con cifras del Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI). En el 2008 se producían 206.9 miles de toneladas, mientras que el 2013 el volumen producido alcanzó las 230 mil toneladas.

Tabla 1.1 . Superficie Sembrada Departamental (Ha)

Departamentos	2010-2011	2011-2012	Var (%)	Part. (%)
Piura	9,808	11,512	17.4%	7.5%
Lambayeque	1,285	1,700	32.3%	1.1%
La Libertad	31,505	32,149	2.0%	21.1%
Cajamarca	30,505	31,635	4.6%	20.7%
Ancash	19,196	18,260	-4.9%	12.0%
Huánuco	11,281	12,094	7.2%	7.9%
Junín	6,792	6,729	-0.9%	4.4%
Huancavelica	4,717	4,287	-9.1%	2.8%
Arequipa	3,553	3,090	-13.0%	2.0%
Ayacucho	9,502	10,567	11.2%	6.9%
Apurímac	6,591	6,212	-5.8%	4.1%
Cusco	11,971	11,111	-7.2%	7.3%
Puno	1,519	1,572	3.5%	1.0%
Otros	1,436	1,662	15.7%	1.1%
<b>Total</b>	<b>149,402</b>	<b>152,579</b>	<b>2.1%</b>	<b>100%</b>

Fuente: MINAG – OEEE

Como se mencionó anteriormente, tenemos una gran cantidad de Producción de Trigo, por lo tanto una gran cantidad de paja dejada por éste, la cual se va incrementando gradualmente tanto nacional como departamentalmente, por ellos al presentar esta investigación tenemos una nueva alternativa de aprovechar dicho recurso que en si es un desecho del trigo, el cual es provechoso para crear mezclas de concreto por sus propiedades cementantes, utilizándolo como sustituto del cemento portland con agregado de la cantera de Cutimbo, sin alterar y/o mejorar las propiedades físicas – mecánicas del concreto.

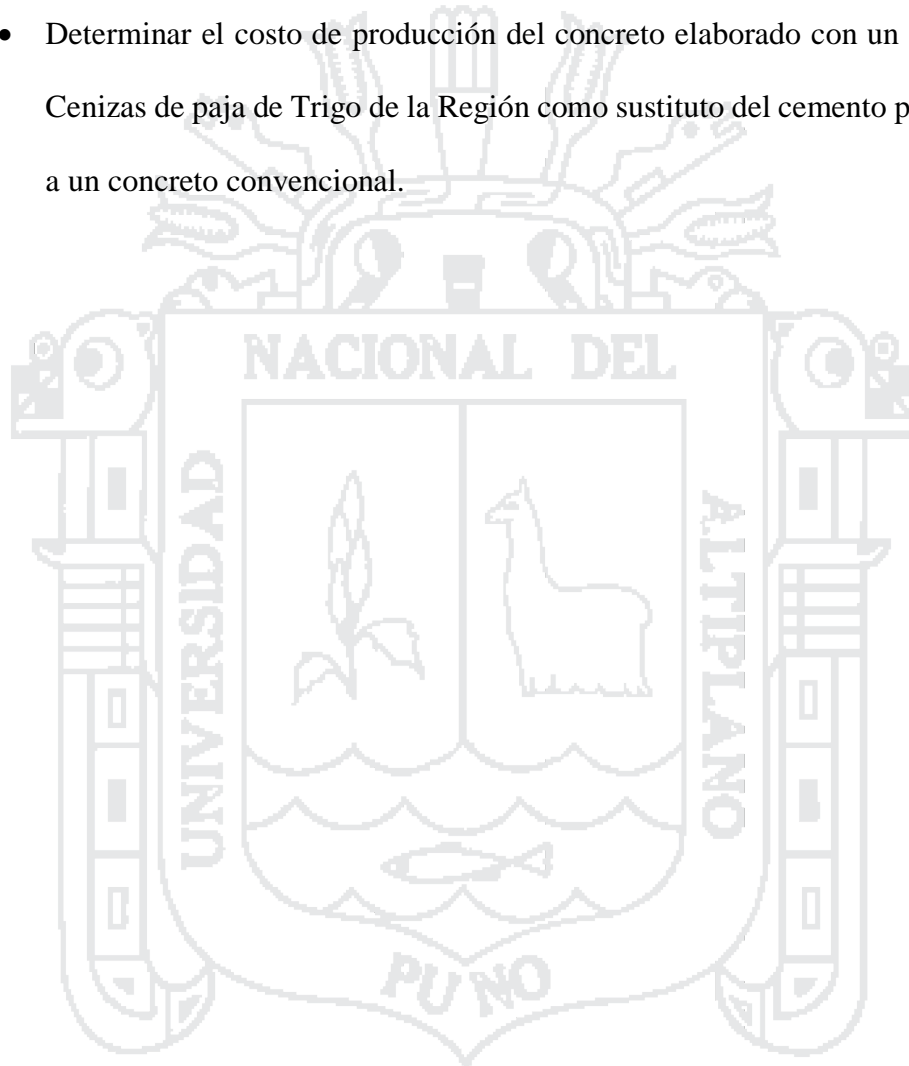
### 1.1. OBJETIVO GENERAL.

- Determinar la influencia en cuanto a características físicas (slump) y mecánicas ( $f'c$ ) en mezclas de concreto con el uso de la Ceniza de paja de Trigo de la Región como sustituto en porcentaje del cemento portland.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Constatar si las propiedades Físico-Químicas de la ceniza de paja de Trigo de la Región, cumplen con las recomendaciones y normas para elaborar mezclas de concreto sin afectar el medio ambiente al calcinar la paja de Trigo.

- Determinar la resistencia a la compresión del concreto al adicionar ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolánico IP.
- Determinar la trabajabilidad del concreto fresco al adicionar ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolánico IP.
- Determinar el costo de producción del concreto elaborado con un porcentaje de Cenizas de paja de Trigo de la Región como sustituto del cemento portland frente a un concreto convencional.



## CAPITULO II

### 2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. GENERALIDADES

Para la evaluación de las mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolánico IP se plantearan preguntas de investigación e hipótesis respectivamente.

##### **Pregunta General:**

- ¿Cómo influye la adición de ceniza de paja de trigo en porcentaje como sustituto del cemento portland puzolánico IP, con respecto a la trabajabilidad y resistencia a la compresión, en mezclas de concreto?

##### **Preguntas Específicas:**

- ¿Cómo son las propiedades físico-químicas de la ceniza de paja de trigo calcinadas en horno de ladrillo artesanal, con respecto a la norma ASTM C318-03 y cómo afecta ambientalmente al calcinar este desecho agroindustrial?
- ¿Cómo influye el uso de la ceniza de paja de trigo como sustituto en peso del cemento portland puzolánico IP en la resistencia a la compresión de

mezclas de concreto?

- ¿Cómo influye el uso de la ceniza de paja de trigo como sustituto en peso del cemento portland puzolánico IP en la trabajabilidad en el concreto fresco?
- ¿Cuánto varía el costo de producción del concreto elaborado con el uso de ceniza de paja de trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP frente al concreto convencional?

#### **Hipótesis General.**

- El uso de Cenizas de paja de Trigo de la Región como sustituto de un porcentaje del cemento portland puzolánico IP mejora las características físicas (slump) y mecánicas ( $f'c$ ) del concreto.

#### **Hipótesis Específicas**

- Las propiedades Físico-Químicas de las Cenizas de paja de Trigo de la Región, tienen características aceptables según la norma ASTM C618-03 para elaborar mezclas de concreto, generando impactos ambientales aceptables para la población.
- La adición de un porcentaje de Ceniza de paja de Trigo de la Región como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolánico IP mejora la resistencia del concreto a compresión con respecto a los 28 días de su elaboración.
- La adición de un porcentaje de Cenizas de paja de Trigo de la Región como

sustituto del cemento portland puzolánico IP, optimiza la trabajabilidad del concreto fresco.

- El costo del concreto elaborado con un porcentaje de Cenizas de paja de Trigo de la Región como sustituto del cemento portland puzolánico IP es mucho más rentable que el concreto normalmente usado.

## 2.2. EL CONCRETO

El concreto es una mezcla de cemento portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia.

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

La presente investigación trata de un concreto conformado con los siguientes materiales: Cemento portland, ceniza de paja de Trigo, agregado fino, agregado grueso y agua, entonces es necesario conocer las componentes y su interrelación de los materiales antes descritos.

## 2.3. CENIZA DE PAJA DE TRIGO.

El código ASTM (1992), en la definición 618-78, define: "las puzolanas son materiales silíceos o alumino-silíceos quienes por sí solos poseen poco o ningún valor cementante, pero cuando se han dividido finamente y están en presencia de agua reaccionan químicamente con el hidróxido de calcio a

temperatura ambiente para formar compuestos con propiedades cementantes”.

Según esta definición podríamos definir 2 tipos de puzolanas:

### **Puzolanas Naturales:**

Rocas volcánicas, en las que el constituyente amorfo es vidrio producido por enfriamiento brusco de la lava. Por ejemplo las cenizas volcánicas, las pómez, las tobas, la escoria y obsidiana.

Rocas o suelos en las que el constituyente silíceo contiene ópalo, ya sea por la precipitación de la sílice de una solución o de los residuos de organismos de lo cual son ejemplos las tierras de diatomeas, o las arcillas calcinadas por vía natural a partir de calor o de un flujo de lava.

### **Puzolanas Artificiales:**

- Cenizas volantes: Las cenizas que se producen en la combustión de carbón mineral (lignito) fundamentalmente en las plantas térmicas de generación de electricidad.
- Arcillas activadas o calcinadas artificialmente: Por ejemplo residuos de la quema de ladrillos de arcilla y otros tipos de arcilla que hayan estado sometidas a temperaturas superiores a los 800 °C.
- Escorias de fundición: Principalmente de la fundición de aleaciones ferrosas en altos hornos. Estas escorias deben ser violentamente enfriadas para lograr que adquieran una estructura amorfa.
- **Las cenizas de residuos agrícolas:** La ceniza de cascarilla de arroz, ceniza de paja de trigo, las cenizas del bagazo y la paja de la caña de azúcar, etc. Cuando



son quemados convenientemente, se obtiene un residuo mineral rico en sílice y alúmina, cuya estructura depende de la temperatura de combustión.

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

- **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 sub bituminoso o lignito. Esta clase de ceniza volante además de tener propiedades puzolánicas tiene propiedades cementicia.

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

### 2.3.1. COMPOSICIÓN QUÍMICA:

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

aceptada. Pero para ello nos basamos en las normas existentes y vigentes en la actualidad.

La norma ASTM-C-618-03 dice que la composición química debe estar acorde con los requerimientos de la tabla 2.1

Tabla 2.1 Requerimientos químicos de las Cenizas.

	Clase		
	N	F	C
Dióxido de silicio ( $\text{SiO}_2$ ) + óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), min %	70.00	70.00	50.00
Trióxido de azufre ( $\text{SO}_3$ ), máx. %	4.00	5.00	5.00
Contenido de humedad, máx. %	3.00	3.00	3.00
Pérdida por calcinación, máx. %	10.00	6.00	6.00

El uso de Puzolanas Clase F que contenga hasta un 12.0% de pérdida por calcinación puede ser aprobado por

el usuario si los registros de desempeño aceptables o los resultados de las pruebas de laboratorio están disponibles.

**Fuente: Astm C 618-03**

### 2.3.2. COMPOSICIÓN FÍSICA

La fineza de cenizas es controlada en muchos casos limitando la cantidad retenida en la malla N°325 por lavado húmedo. La reactividad de las cenizas se ha encontrado que está relacionada directamente con la cantidad que pasa ese tamiz desde que las partículas más gruesas generalmente no reaccionan rápidamente con el concreto (Rivva López, 2010)

La norma ASTM C 618-03 exige algunas características físicas que deben cumplir los diferentes tipos de Cenizas, los que son descritos en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 Características físicas que deben cumplir los diferentes tipos de cenizas.

	Clase		
	N	F	C
<b>Finura:</b> Cantidad retenida en el tamizado vía húmeda en la malla de 45 μm (N° 325), máx., % A	34.00	34.00	34.00
<b>Índice de actividad puzolánica: B</b> Con cemento portland, a 7 días, mín., % Con cemento portland, a 28 días, mín., %	75.00	75.00	75.00
Demanda de agua, máx., % del control	115.00	105.00	105.00
Estabilidad: D Expansión, contracción en autoclave, máx., %	0.80	0.80	0.80
Requisitos de uniformidad: Densidad, máxima variación del promedio,%	5.00	5.00	5.00
Porcentaje retenido en 45 μm (N° 325), variación máx., puntos de % del promedio	5.00	5.00	5.00

- a) Se debe tener cuidado para evitar la retención de aglomeraciones de material extremadamente fino.
- b) El índice de actividad de resistencia con cemento portland no debe considerarse una medida de la resistencia a la compresión del hormigón que contiene las cenizas volantes o la puzolana. La masa de ceniza volante o puzolana especificada para la prueba para determinar el índice de actividad de fuerza con cemento portland no se considera la proporción Recomendado para el hormigón que se va a utilizar en la obra. La cantidad óptima de ceniza volante o puzolana natural para cualquier proyecto específico se determina por las propiedades requeridas Del hormigón y otros constituyentes del hormigón y se establecerá mediante ensayos. El índice de actividad de la fuerza con cemento portland es una medida de reactividad con un Cemento y puede variar en cuanto a la fuente de la ceniza volante o puzolana natural y el cemento.
- c) El cumplimiento del índice de actividad de 7 días o 28 días indicará el cumplimiento de la especificación.
- d) Si la ceniza volante o la puzolana constituyen más del 20% en peso del material cementoso en el diseño de la mezcla del proyecto, los especímenes de ensayo para el autoclave de Expansión deberá contener ese porcentaje previsto. La expansión excesiva de la autoclave es altamente significativa en los casos en que el agua para volar ceniza o puzolana y cemento Son bajas, por ejemplo, en mezclas de bloques o de hormigón proyectado.

Fuente: Astm C 618-03

### 2.3.3. REACCIÓN QUÍMICA DE LAS CENIZAS CON LOS COMPONENTES DEL CEMENTO.

Los dos silicatos de calcio (C<sub>3</sub>S y C<sub>2</sub>S), los cuales constituyen 75% del peso del cemento portland, reaccionan con el agua para formar dos compuestos: hidróxido de calcio y silicato de calcio hidratado (hidrato de silicato de calcio). La resistencia y otras

propiedades del cemento hidratado se deben principalmente al silicato de calcio hidratado, éste es el corazón del concreto.

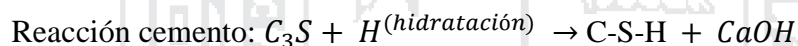
El cemento portland hidratado contiene del 15% hasta 25% de hidróxido de calcio y aproximadamente 50% de silicato de calcio hidratado, en masa. (PCA, 2004)

Tabla 2.3 Reacciones de Hidratación de los Silicatos del Cemento Portland

3CaO.SiO <sub>2</sub>	+	H <sub>2</sub> O	=	C-S-H	+	CaO.H <sub>2</sub> O
Silicato tricálcico		agua		Silicato de calcio hidratado		Hidróxido de calcio
2Ca.SiO <sub>2</sub>	+	H <sub>2</sub> O	=	C-S-H	+	CaO.H <sub>2</sub> O
Silicato dicálcico		agua		Silicato de calcio hidratado		Hidróxido de calcio

Fuente: (PCA, 2004)

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



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

## 2.4. CEMENTO

Se define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad de, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. Quedan

excluidas de esta definición las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos. (Rivva López, 2010)

#### **2.4.1. CEMENTO PORTLAND NORMAL**

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

#### **DEFINICIÓN DEL CLINKER:**

El Clinker es fabricado mediante un proceso que comienza por combinar una fuente de cal (Oxido Cálxico,  $\text{CaO}$  del 60% al 67%), tal como las calizas; una fuente de sílice y alúmina (Anhídrido silícico,  $\text{SiO}_2$  del 17% al 25% y Oxido alúmino,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  del 3% al 8%), tal como las arcillas; y una fuente de óxido de hierro (Oxido férrico,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  del 0.5% al 6%), tal como el mineral de hierro. Una mezcla adecuadamente dosificada de los materiales crudos es finamente molida y luego calentada a una temperatura suficientemente alta, alrededor de los  $1500^\circ\text{C}$ , a fin de que se produzcan las reacciones entre los componentes del cemento, el producto obtenido del horno es conocido como el Clinker de cemento Portland. Después de enfriado, el Clinker es molido con una adición de cerca del 6% de sulfato de calcio (Yeso) para formar el cemento Portland. (Rivva López, 2010)

#### 2.4.1.1. CLASIFICACIÓN DEL CEMENTO PORTLAND

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### **2.4.1.2. CEMENTO PORTLAND PUZOLÁNICO**

Los cementos portland puzolánicos se designan como tipo IP o tipo P. El tipo IP se lo puede usar para la construcción en general y el tipo P se usa en construcciones que no requieran altas resistencias iniciales. Se fabrican estos cementos a través de la molienda conjunta del clinker de cemento portland con una puzolana adecuada, o por el mezclado de cemento portland o cemento de alto horno con puzolana, o por la combinación de la molienda y del mezclado. El contenido de puzolana de estos cementos está entre 15% y 40% de la masa del cemento. Los ensayos de laboratorio indican que el desempeño de los concretos preparados con el cemento tipo IP es similar al concreto del cemento tipo I. (PCA, 2004)

La puzolana empleada en la fabricación de cementos es aquel material que posee propiedades puzolánicas es decir como aptitud para fijar hidróxido de calcio a la temperatura ambiente, formando en presencia de agua, compuestos que poseen



propiedades hidráulicas. Debe cumplir con los requisitos de la norma ASTM C 595.

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

### 2.4.1.3. COMPUESTOS PRINCIPALES

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

Silicato tricálcico ( $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ) =  $\text{C}_3\text{S}$

Silicato dicálcico ( $2\text{Ca} \cdot \text{SiO}_2$ ) =  $\text{C}_2\text{S}$

Aluminato tricálcico ( $3\text{Ca} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ) =  $\text{C}_3\text{A}$

Alumino ferrita tricálcica ( $4\text{Ca} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) =  $\text{C}_4\text{AF}$

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

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

**Silicato Tricálcico  $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$  ( $\text{C}_3\text{S}$ )**

El cemento endurece más rápidamente y alcanza resistencias más elevadas fundamentalmente por la combinación cal-sílice conocido como Silicato tricálcico. Es el más importante de los compuestos minerales del Clinker. El  $\text{C}_3\text{S}$  produce una gran velocidad de hidratación, lo que favorece un rápido endurecimiento del cemento, sus características hidráulicas son excelentes, su calor de hidratación completa en 120 cal/gr.

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

**Silicato Dicálcico  $2\text{Ca}\cdot\text{SiO}_2$  ( $\text{C}_2\text{S}$ )**

El silicato dicálcico tiene una lenta velocidad de hidratación y endurecimiento, lo que le caracteriza como principal constituyente de los cementos de endurecimiento lento, se estima su calor de hidratación completa en 62 cal/gr. La contribución del  $\text{C}_2\text{S}$  a la resistencia en las primeras edades es muy pequeña, posteriormente es la fuente principal del desarrollo de resistencia, la resistencia del concreto a los ciclos de congelación y deshielo tiende a mejorar conforme aumenta el porcentaje de los silicatos cálcicos del cemento.

Los cementos ricos en silicato dicálcico son químicamente más estables y más

resistentes al ataque por sulfatos, además son adecuados en construcciones masivas; en climas cálidos; y en todos aquellos casos en que no sea de interés primordial el conseguir grandes resistencias a corto plazo.

### **Aluminato Tricálcico $3\text{Ca}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\text{C}_3\text{A}$ )**

El contenido de  $\text{C}_3\text{A}$  de los cementos enfriados rápidamente es considerablemente más bajo que el de los clínkeres de la misma composición enfriados lentamente. Después de los álcalis, los aluminatos son los compuestos de cemento que primero reaccionan con el agua. Su fraguado ocurre a una velocidad de hidratación muy grande, hasta el punto de ser casi instantáneo, se estima que su calor de hidratación completa es 207 cal/gr, para controlar esta velocidad de hidratación obliga la adición de sulfato de calcio al Clinker durante el proceso de molienda de este último.

El  $\text{C}_3\text{A}$  contribuye al desarrollo de la resistencia durante las primeras 24 horas, posteriormente su aporte a la resistencia es prácticamente nula. La resistencia del concreto a los ciclos de congelación y deshielo tiende a disminuir con aumentos en el contenido de  $\text{C}_3\text{A}$ . El  $\text{C}_3\text{A}$  es muy sensible a las aguas sulfatadas, aguas que contienen cloruros; en altos contenidos de sulfatos se recomienda valores a  $\text{C}_3\text{A}$  máximos del 5%.

Los cementos ricos en  $\text{C}_3\text{A}$  y  $\text{C}_3\text{S}$  dan elevadas resistencias a corto plazo pero tienen el inconveniente, en general, de una menor resistencia a los agentes agresivos que aquella que presentan los cementos ricos en silicato dicálcico.

### **Alumino Ferrita Tricálcica $4Ca \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ ( $C_4AF$ )**

El calor desarrollado por el  $C_4AF$  es muy bajo, estimándose su calor de hidratación completa de 100 cal/gr. Su papel en las resistencias mecánicas no está definido aunque se estima que tiene efecto muy pequeño en cualquier periodo.

Los cementos ricos en  $C_4AF$  tienen condiciones de empleo específicas en todos aquellos casos en que importe más la durabilidad frente a los agresivos químicos que las resistencias mecánicas.

#### **2.4.1.4. COMPUESTOS SECUNDARIOS**

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

##### **Óxido de Cal libre ( $CaO$ )**

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

- Una combinación imperfecta de la cal con otros materiales por inadecuada cocción del Clinker.
- Defectos de dosificación, homogenización o cocción del crudo; o inadecuada finura del mismo
- Deficiencias de enfriamiento del Clinker a la salida del horno.

La cal libre, en presencia de agua o sustancias acidas, forma sales de calcio las

cuales dan origen a expansiones, agrietamientos y desmoronamiento del concreto.

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

### **Óxido de magnesio (MgO)**

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

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

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

### **Óxidos de sodio y potasio**

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

El óxido de sodio como el de potasio son elementos indeseables en el cemento.

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

### **Pérdida por calcinación**

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

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

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

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

Es un componente muy importante en el cemento, se presenta en pequeños porcentajes, este elemento proviene del yeso ( $\text{CaSO}_4$  Sulfato de calcio) añadido al Clinker.

La adición de yeso al Clinker de cemento portland se hace con la finalidad de regular el tiempo de fraguado, pero si se añade demasiado se corre el peligro que se presenten expansiones por acción del yeso.

Es sabido que el  $\text{C}_3\text{A}$ , en contacto con el agua, fragua en forma prácticamente instantánea, no obstante que el contenido de  $\text{C}_3\text{A}$  en el cemento induce al fraguado rápido, una pequeña adición de yeso elimina el inconveniente citado.

La norma ASTM C150 limita el contenido de anhídrido sulfúrico de los cementos portland normales a un máximo el cual está en relación con el contenido de  $\text{C}_3\text{A}$ :

Si el contenido de  $\text{C}_3\text{A}$  es de 8% o menor, la norma admite un contenido máximo de  $\text{SO}_3$  de:

- 2.5% para cementos portland Tipo I y II.
- 2.3% para cementos portland Tipo V.

Si el contenido de  $\text{C}_3\text{A}$  es más del 8%, la norma admite un contenido máximo de  $\text{SO}_3$  de: 3% para cementos portland Tipo I.

## 2.5. AGUA



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

Permitir que el conjunto de la masa de concreto adquiera las propiedades que:

- En estado no endurecido faciliten una adecuada manipulación y colocación.
- En estado endurecido se convierta en un producto de las propiedades y características deseadas.

Como requisito de carácter general y sin que ello implique la realización de ensayos que permitan verificar su calidad, se podrá emplear como aguas de mezclado aquellas que se consideren potables, o las que por experiencia se conozcan que pueden ser utilizadas en la preparación del concreto. (Rivva López, 2010)

### 2.5.1. REQUISITOS QUE DEBE CUMPLIR EL AGUA

El agua empleada en la preparación y curado del concreto deberá cumplir con los requisitos de la Norma NTP 339.088, y ser de preferencia Potable.

Tabla 2.4 Requisitos para el agua de mezcla.

SUSTANCIAS DISUELTAS	VALOR MÁXIMO ADMISIBLE
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de Magnesio	150 ppm
Sales Solubles	150 ppm
PH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia Orgánica	10 ppm

Fuente: NTP 339.088

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

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

## 2.6. AGREGADOS

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

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

Se clasifican en:

1) Agregados Finos

- Arena fina
- Arena gruesa

2) Agregados Gruesos

- Grava
- Piedra

3) Hormigón: corresponde a mezcla natural de Grava y Arena, este agregado se utiliza para preparar un concreto de baja calidad como el empleado en cimentaciones corridas, falsos pisos, falsas zapatas, calzaduras, algunos muros, etc. El emplear el hormigón en la elaboración del concreto este deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas blandas o escamosas, sales, álcalis, materia orgánica u otras sustancias dañinas. (Abanto Castillo, 1994)

Si se emplea, con autorización del proyectista, el agregado integral denominado “Hormigón” deberá cumplirse con lo indicado en el acápite 3.2.12 de la Norma Técnica E.060. (Rivva López, 2007)

### 2.6.1. AGREGADO FINO

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

Sin embargo el Manual de ensayo de materiales (EM 2000) del MTC E 204-2000, El cual está basado según a las normas ASTM 136 y AASHTO T 27, los mismos que se han adaptado, a nivel de implementación, a las condiciones propias de nuestra realidad.

Este Manual indica que para mezclas de agregados gruesos y finos la muestra será separado en dos tamaños, por el tamiz 4.75mm (Nº4). Por lo tanto, para la presente investigación, se manejará al tamiz Nº4 para separar el agregados grueso y fino.

#### **2.6.1.1. GRANULOMETRÍA (NTP 400.012)**

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

Estas partículas deberán tener un comportamiento óptimo en la mezcla, y esto solo se obtendrá si sus volúmenes llegan a tener una buena compacidad entre ellas, conociendo que el agregado grueso aporta con su resistencia y su volumen, y el agregado fino actúa como lubricante para la suspensión de los agregados gruesos en la mezcla, aportando en mejorar la consistencia y la trabajabilidad de la mezcla. Por lo que concluimos que una granulometría óptima origina en la mezcla una alta densidad, buena trabajabilidad y un óptimo contenido de cemento. En general se considera que las granulometrías sean continuas, es decir aquellas en las que el tamaño de las partículas varía del más fino al más grueso siguiendo una ley uniforme, son las más satisfactorias, no siendo deseable que en cada tamiz sean retenidos porcentajes iguales.

La experiencia ha demostrado que es posible obtener concretos de calidad empleando agregados con granulometrías discontinuas; es decir excluyentes de determinados tamaños de agregados, siendo la principal desventaja de estas la posibilidad de una mayor segregación, la corrección de la granulometría del agregado fino por

tamizado y recombinación, puede ser costosa e impracticable, para el agregado grueso puede ser fácilmente realizada. (Rivva Lopez, 2000)

Es recomendable tener en cuenta lo siguiente:

- La granulometría seleccionada deberá ser preferentemente continua, con valores retenidos en las mallas: N°4 a N°100.
- El agregado no deberá retener más de 45% en dos tamices consecutivos cualquiera.
- En general es recomendable que la granulometría se encuentre dentro de los siguientes límites.

Tabla 2.5 Requisitos granulométricos para el agregado fino

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

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.037 (2002)

Con los datos de la tabla 2.5, dibujamos la curva envolvente, lo cual se muestra en la siguiente figura:

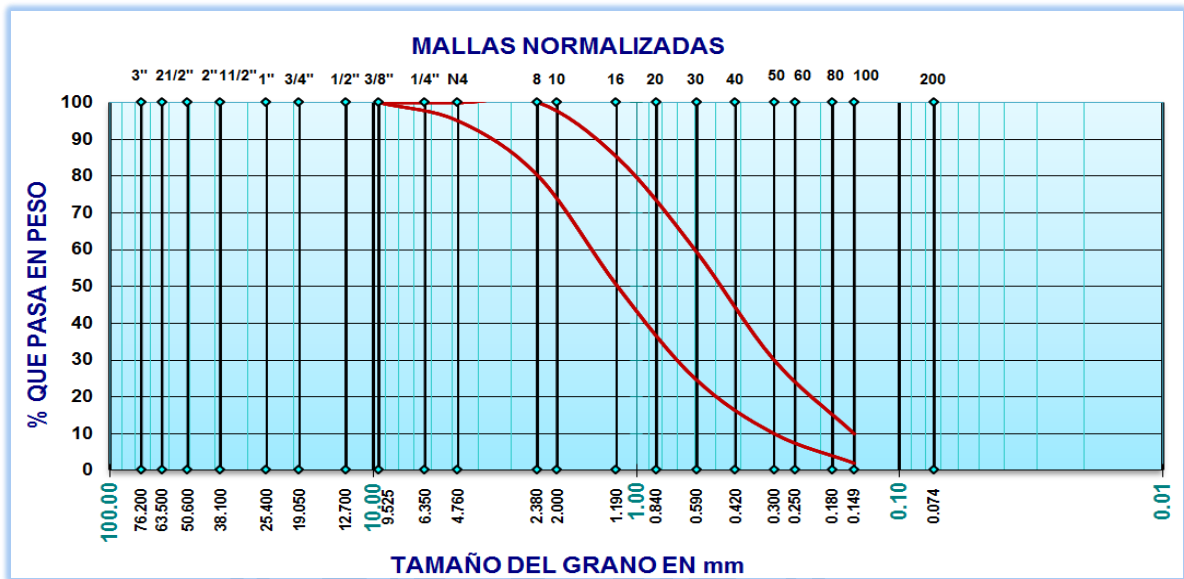


Figura 2.1 Curvas envolventes para el agregado fino, según norma NTP 400.037

Fuente: Elaboración propia

### 2.6.1.2. MÓDULO DE FINEZA (NTP 400.011)

Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizado. (Sánchez Muñoz, 2015)

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

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

El módulo de finura se obtiene a través de la suma de los porcentajes retenidos acumulados de los tamices: 3", 1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100

dividida entre 100. (Abanto Castillo, 1994)

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

### 2.6.1.3. CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 400.016)

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

$$\text{Contenido de Humedad del Agregado Fino} = \frac{(\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco})}{\text{Peso Seco}} * 100$$

### 2.6.1.4. PESO ESPECÍFICO (NTP 400.022)

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

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

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

### 2.6.1.5. ABSORCIÓN (NTP 400.022)

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

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

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

### **PESO ESPECÍFICO DE LOS SÓLIDOS**

$$P.e.s = \frac{W_s}{(W_m - V)}$$

Donde

$P.e.s$  : Peso específico de sólidos.

$W_s$  : Peso seco de la muestra.

$W_m$  : Peso de la muestra.

$V$  : Volumen de la muestra.

### **PESO ESPECÍFICO DE SÓLIDOS SATURADO CON SUPERFICIE SECA**

$$P.e.SSS = \frac{W_{SSS}}{(W_m - V)}$$



## PESO ESPECÍFICO APARENTE

$$P. e. a = \frac{W_s}{(W_m - V) - (W_{SSS} - W_s)}$$

## ABSORCIÓN

$$\%Abs = \frac{W_{SSS} - W_s}{W_s} \times 100$$

### 2.6.1.6. PESO UNITARIO (NTP 400.017)

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

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

Existen 2 tipos de pesos unitarios:

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

En este ensayo se busca determinar el peso del agregado que llenaría un recipiente de

volumen unitario. Se usa el término "Peso volumétrico unitario" porque se trata del volumen ocupado por el agregado y por los huecos. Este peso se utiliza para convertir cantidades en peso a cantidades en volumen.

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

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

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

Todos los agregados presentan distinta proporción entre el peso unitario compactado con el peso unitario suelto.

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

### 2.6.2. AGREGADO GRUESO

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

**a) GRAVAS**

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

ríos depositados en forma natural.

Cada fragmento ha perdido sus aristas vivas y se presentan en formas más o menos redondeadas. Las gravas pesan de 1600 a 1 700 kg/m<sup>3</sup>. (Abanto Castillo, 1994)

#### b) PIEDRA PARTIDA O CHANCADA

Se denomina así al agregado grueso obtenido por trituración artificial de rocas o gravas. Como agregado grueso se puede usar cualquier clase de piedra partida siempre que sea limpia, dura y resistente.

Su función principal es dar volumen y apoyar su propia resistencia. Los ensayos indican que la piedra chancada o partida da concretos ligeramente más resistentes que los hechos con piedra redonda. (Abanto Castillo, 1994)

Para la presente investigación se ha utilizado el agregado grueso procedente de la cantera “Cutimbo”.

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

#### **2.6.2.1. GRANULOMETRÍA NTP 400.012**

Denominado también análisis granulométrico, viene a ser la representación numérica de la distribución volumétrica de las partículas por tamaños. Si un agregado no está dentro del huso granulométrico se puede ajustar separando el material pasándolo por una malla intermedia en las proporciones debidas. No interesa que las curvas estén fuera

del huso granulométrico, lo que importa es que la combinación cumpla, ya que en definitiva es la que condiciona el resultado de la mezcla, para esto es preferible que no esté muy desfasado del huso granulométrico. (Calla Salcedo, 2013)

### **LIMITES GRANULOMÉTRICOS**

Los límites granulométricos (Husos) que recomienda la NTP 400.037 para el agregado grueso se detallan de acuerdo a la tabla 2.6, en donde se observa 15 límites granulométricos. (Huincho Salvatierra, 2011).

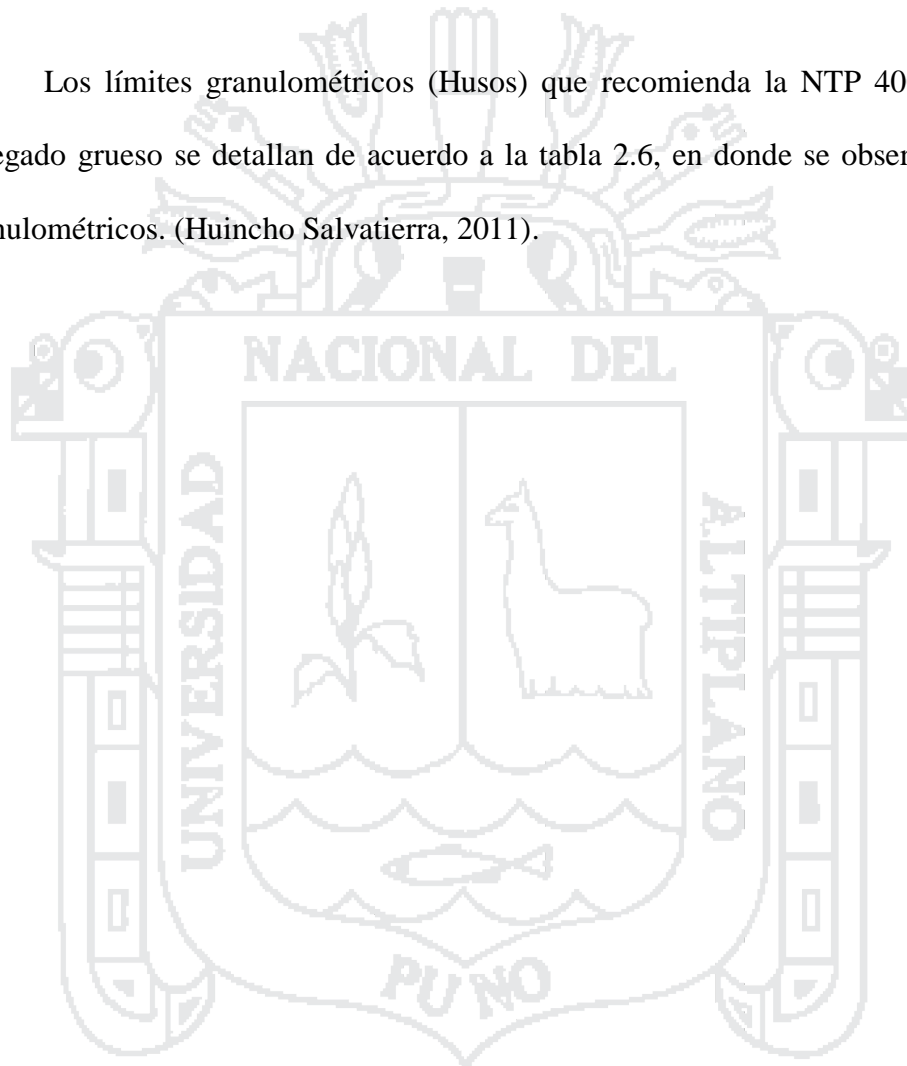


Tabla 2.6. Límites granulométricos para el agregado grueso

Nº ASTM	TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	PORCENTAJE QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS														
		100mm (4 Pulg)	90mm (3 ½ Pulg)	75mm (3 Pulg)	63mm (2 ½ Pulg)	50mm (2 Pulg)	37,5mm (1 ½ Pulg)	25mm (1 Pulg)	19mm (¾ Pulg)	12,5mm (½ Pulg)	9,5mm (3/8 Pulg)	4,75mm (Nº 4)	2,36mm (Nº 8)	1,18mm (Nº 16)	4,75µm (Nº 50)	
1	90mm a 37.5mm (3½ Pulg a 1½ Pulg)	100	90 a 100	0	25 a 60	0	0 a 15	0	0 a 5	0	0	0	0	0	0	
2	63mm a 37.5mm (2½ Pulg a 1½ Pulg)	0	0	100	9 a 100	35 a 70	0 a 15	0	0	0	0	0	0	0	0	
3	50mm a 25mm (2 Pulg a 1 Pulg)	0	0	0	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	0 a 5	0	0	0	0	0	0	
357	50mm a 4.75mm (2 Pulg a Nº4)	0	0	0	100	95 a 100	0	35 a 70	10 a 30	0	0 a 5	0	0	0	0	
4	37.5mm a 19mm (1½ Pulg a ¾ Pulg)	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 55	0	0 a 5	0	0	0	0	0	
467	37.5mm a 4.75mm (1½ Pulg a Nº4)	0	0	0	0	100	95 a 100	0	35 a 70	10 a 30	0 a 5	0	0	0	0	
5	25mm a 12.5mm (1 Pulg a ½ Pulg)	0	0	0	0	0	100	90 a 100	0 a 10	0 a 5	0	0	0	0	0	
56	25mm a 9.5mm (1 Pulg a 3/8 Pulg)	0	0	0	0	0	100	90 a 100	10 a 40	0 a 15	0 a 5	0	0	0	0	
57	25mm a 4.75mm (1 Pulg a Nº4)	0	0	0	0	0	100	95 a 100	25 a 60	0	0 a 10	0 a 5	0	0	0	
6	19mm a 9.5mm (¾ Pulg a 3/8 Pulg)	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	0 a 15	0 a 5	0	0	0	0	
67	19mm a 4.75mm (¾ Pulg a Nº4)	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	0	0	0	
7	12.5mm a 4.75mm (½ Pulg a Nº4)	0	0	0	0	0	0	0	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	0	0	0	
8	9.5mm a 2.36mm (3/8 Pulg a Nº8)	0	0	0	0	0	0	0	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	0	0	
89	9.5mm a 1.18mm (3/8 Pulg a Nº16)	0	0	0	0	0	0	0	100	90 a 100	20 a 35	5 a 30	0 a 10	0 a 5	0	
9	4.75mm a 1.18mm (Nº4 a Nº16)	0	0	0	0	0	0	0	0	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5	0	

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037

## **TAMAÑO MÁXIMO**

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

El Tamaño Máximo del agregado grueso viene a ser el tamaño de la abertura del tamiz que deja pasar todo el agregado. (Quevedo Haro, 2013)

Granulometrías muy distintas pueden dar el mismo valor del tamaño máximo del agregado grueso. Ello debe tenerse en presente en la selección del agregado, de su granulometría y de las proporciones de la mezcla.

## **TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL**

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

Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso viene a ser el tamaño de la abertura del tamiz que produce el primer retenido del agregado. (Quevedo Haro, 2013)

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

- a)  $1/5$  de la menor separación entre los lados del encofrado.
- b)  $1/3$  de la altura de la losa, de ser el caso.
- c)  $3/4$  del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

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

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

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

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

**El tamaño máximo nominal** del agregado es el que se designa en las especificaciones como tamaño máximo requerido para el concreto de cada estructura en particular, y se define de acuerdo con diversos aspectos tales como las características geométricas y de refuerzo de las estructuras, los procedimientos y equipos empleados para la colocación del concreto, el nivel de la resistencia mecánica requerida en el concreto, etc. Debido a la dificultad práctica de asegurar una dimensión máxima precisa

en el tamaño de las partículas durante la clasificación y el suministro del agregado grueso, es usual conceder una tolerancia dimensional con respecto al tamaño máximo nominal, pero limitando la proporción de partículas que pueden excederlo.

De esta manera, no basta con especificar el tamaño máximo nominal, sino que también es necesario definir el tamaño máximo efectivo permisible y la proporción máxima de partículas que puede admitirse entre el tamaño máximo nominal y el efectivo, es decir, lo que constituye el sobre tamaño nominal tolerable. (Gómez Gutiérrez, 2009)

Tabla 2.7. Cantidad mínima de la muestra de agregado grueso.

Tamaño Máximo Nominal Aberturas cuadradas mm (pulg.)	Cantidad de la Muestra de ensayo, Mínimo kg (lb)
9.5 ( 3/8 )	1 ( 2 )
12.5 ( 1/2 )	2 ( 4 )
19 ( 3/4 )	5 ( 11 )
25 ( 1 )	10 ( 22 )
37.5 ( 1 ½ )	15 ( 33 )
50 ( 2 )	20 ( 44 )
63 ( 2 ½ )	35 ( 77 )
75 ( 3 )	60 ( 130 )
90 ( 3 ½ )	100 ( 220 )
100 ( 4 )	150 ( 330 )
125 ( 5 )	300 ( 660 )

Fuente: Norma Técnica Peruana 400.012

#### 2.6.2.2. MÓDULO DE FINEZA (NTP 400.011)

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



para controlar la uniformidad de los mismos. (Abanto Castillo, 1994)

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

### 2.6.2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 400.016)

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

$$\text{Contenido de Humedad del A. Grueso} = \frac{(\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco})}{\text{Peso Seco}} * 100$$

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

### 2.6.2.4. PESO ESPECÍFICO (NTP 400.021)

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

El peso específico es un indicador de calidad, en cuanto a los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que el peso específico bajo

generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

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

- **Peso específico de masa;** el cual es definido por la norma ASTM E12, como la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material permeable (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales) a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua libre de gas.
- **Peso específico de masa saturado superficialmente seco;** el cual es definido como el mismo que el peso específico de masa, excepto que ésta incluye el agua en los poros permeables.
- **Peso específico aparente;** el cual es definido como la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de un material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua libre de gas. Si el material es un sólido, el volumen es aquel de la porción impermeable.

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

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

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

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

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

Donde

Pesos específicos en  $\text{gr/cm}^3$ .

$A$  : Peso de la muestra seca, en gramos.

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

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

#### 2.6.2.5. ABSORCIÓN (NTP 400.021)

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

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

El porcentaje de absorción se determina por la siguiente relación:

$$\% \text{ de Absorción del Agregado Grueso} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:  $A$  : Peso de la muestra seca, en gramos.

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

#### 2.6.2.6. PESO UNITARIO (NTP 400.017)

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

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

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

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

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

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

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

## 2.7. CONCRETO EN ESTADO FRESCO

### 2.7.1. TRABAJABILIDAD

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

La consistencia está definida por el grado de humedecimiento de la mezcla,

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

Tabla 2.8. Clases de mezclas y su asentamiento

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

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

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

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

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

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

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

### 2.7.1.1. ENSAYO DE TRABAJABILIDAD

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

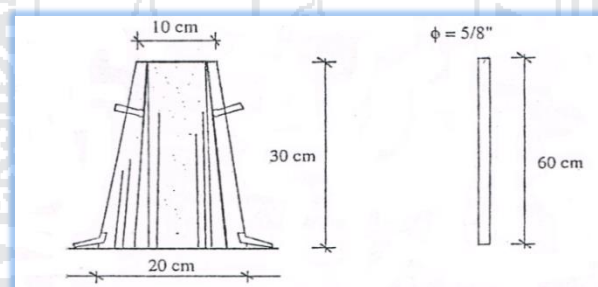


Figura 2.2. Equipo para prueba de consistencia

Fuente: Flavio Abanto Castillo, "Tecnología del concreto", Pág. 48

### PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

El molde se coloca sobre una superficie plana y humedecida, manteniéndose inmóvil pisando las aletas. Seguidamente se vierte una capa de concreto hasta un tercio del volumen. Se apisona con la varilla, aplicando 25 golpes, distribuidos uniformemente.

Enseguida se colocan otras dos capas con el mismo procedimiento a un tercio del volumen y consolidando, de manera que la barra penetre en la capa inmediata inferior.

La tercera capa se deberá llenar en exceso, para luego enrasar al término de la

consolidación. Lleno y enrasado el molde, se levanta lenta y cuidadosamente en dirección vertical.

El concreto moldeado fresco se asentará, la diferencia entre la altura del molde y la altura de la mezcla fresca se denomina Slump.

Se estima que desde el inicio de la operación hasta el término no deben transcurrir más de 2 minutos de los cuales el proceso de desmolde no toma más de cinco segundos.

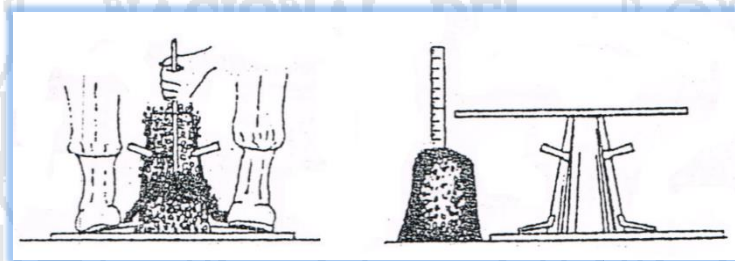


Figura 2.3. Prueba de consistencia  
Fuente: Flavio Abanto Castillo, "Tecnología del concreto", Pág. 49

## 2.8. CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

### 2.8.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

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

La resistencia a la compresión de la briqueta cilíndrica se calcula mediante la

siguiente fórmula:

$$f'c = \frac{P}{A} \text{ (kg/cm}^2\text{)}; A = \frac{\pi\phi^2}{4}$$

Donde

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

$P$ : Carga de Rotura (kg)

$\phi$ : Diámetro de la briqueta cilíndrica (cm)

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

### 2.8.2. DESARROLLO DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO

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

En la tabla 2.9 se muestra la relación entre la resistencia del concreto a una determinada edad y su resistencia a los 28 días: (Harmsen, 1995)

Tabla 2.9. Relación entre la resistencia a la compresión del concreto en diferentes etapas y la resistencia a los 28 días

Tiempo	7 días	14 días	28 días	90 días	6 meses	1 año	2 años	5 años
$f'c(t)/f'c28$	0.67	0.86	1	1.17	1.23	1.27	1.31	1.35

Fuente: Elaboración Propia

## 2.9. TRATAMIENTO ESTADISTICO



### 2.9.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS

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

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

#### **Paso N° 01**

Plantear la Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa

#### **Paso N° 02**

Seleccionar el Nivel de Significancia

#### **Paso N° 03**

Identificar o seleccionar el estadístico de prueba

#### **Paso N° 04**

Formular la regla de decisión

#### **Paso N° 05**

Tomar una decisión( No se rechaza  $H_0$ , o se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ )

El desarrollo de estos pasos se verá en el capítulo 3.3.

### 2.9.2. SELECCIÓN DEL TEST

Para seleccionar el test apropiado para analizar nuestros datos, una vez realizado

el muestreo se construye un diagrama de frecuencias (o se realiza un test estadístico si se dispone de software apropiado) para comprobar la normalidad de la variable cuantitativa en cada uno de los dos grupos. Asimismo, se realiza el test de la F de Fisher para comprobar la homogeneidad de las varianzas entre los dos grupos. (Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología, 2005)

### 2.9.3. COMPROBACIÓN DE LA NORMALIDAD DE LA VARIABLE

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

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

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

Coefficiente de sesgo o asimetría:

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

Coefficiente de curtosis:

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

Se considera que una distribución de frecuencias se aproxima a la distribución normal si:  $|g_1| \leq 0.5$  y  $|g_2| \leq 0.5$  (Achoy Bustamante, 2012)

#### 2.9.4. DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

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

Cálculo de la amplitud o rango de los datos  $R = X_{\text{mayor}} - X_{\text{menor}}$

Número de clases. Usamos la fórmula de Sturges

$$K = 1 + 3.322 \log(n)$$

Tamaño de clase:  $C = \frac{R}{K}$

Intervalos de clase:  $\Delta$

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

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

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

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

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

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

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

Para poder determinar un grado de control en los datos obtenidos. Se recurre al empleo de valores de dispersión en pruebas de concreto, establecidas en la tabla 2.10

Tabla 2.10. Valores de Dispersión en el control de concreto

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

Fuente: Enrique Pasquel Carvajal. "Tópicos de Tecnología del Concreto"

### 2.9.5. CÁLCULO DEL ESTADÍSTICO F

Sirve para comparar la homogeneidad las varianzas de dos o más poblaciones. La comparación de varianzas para dos poblaciones, cuyas hipótesis serán de la siguiente manera:  $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$  vs  $H_1: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$

Las hipótesis Nula y Alternativa son:

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

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

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

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

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

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

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

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

### 2.9.6. DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT

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

#### Requisitos

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

Las hipótesis pueden ser de:

**a) Hipótesis de dos colas**

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

$$H_1: \mu_{\bar{X}_{CPT}} \neq \mu_{\bar{X}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{X}_{CPT}} = \mu_{\bar{X}_C}$$

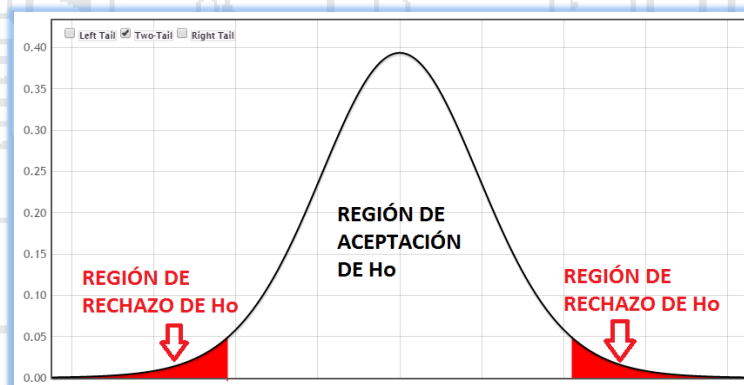


Figura 2.4. Curva de Distribución para hipótesis de dos colas  $H_1: \mu_{\bar{X}_{CPT}} \neq \mu_{\bar{X}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{X}_{CPT}} = \mu_{\bar{X}_C}$

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

**b) Hipótesis de una cola**

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

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

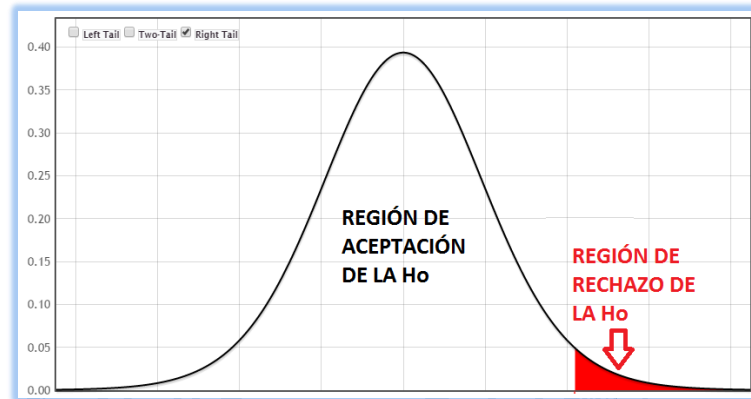


Figura 2.5. Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la derecha  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CPT}} > \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CPT}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

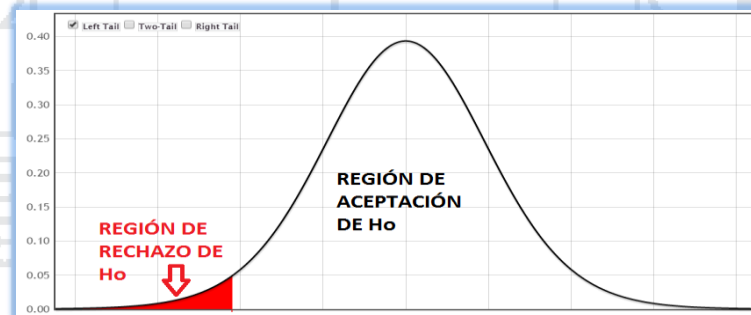


Figura 2.6. Curva de Distribución para hipótesis de una cola a la izquierda  $H_1: \mu_{\bar{x}_{CPT}} < \mu_{\bar{x}_C} \rightarrow H_0: \mu_{\bar{x}_{CPT}} \geq \mu_{\bar{x}_C}$

Fuente: StatKey.com-Theoretical Distribution

### PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

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

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

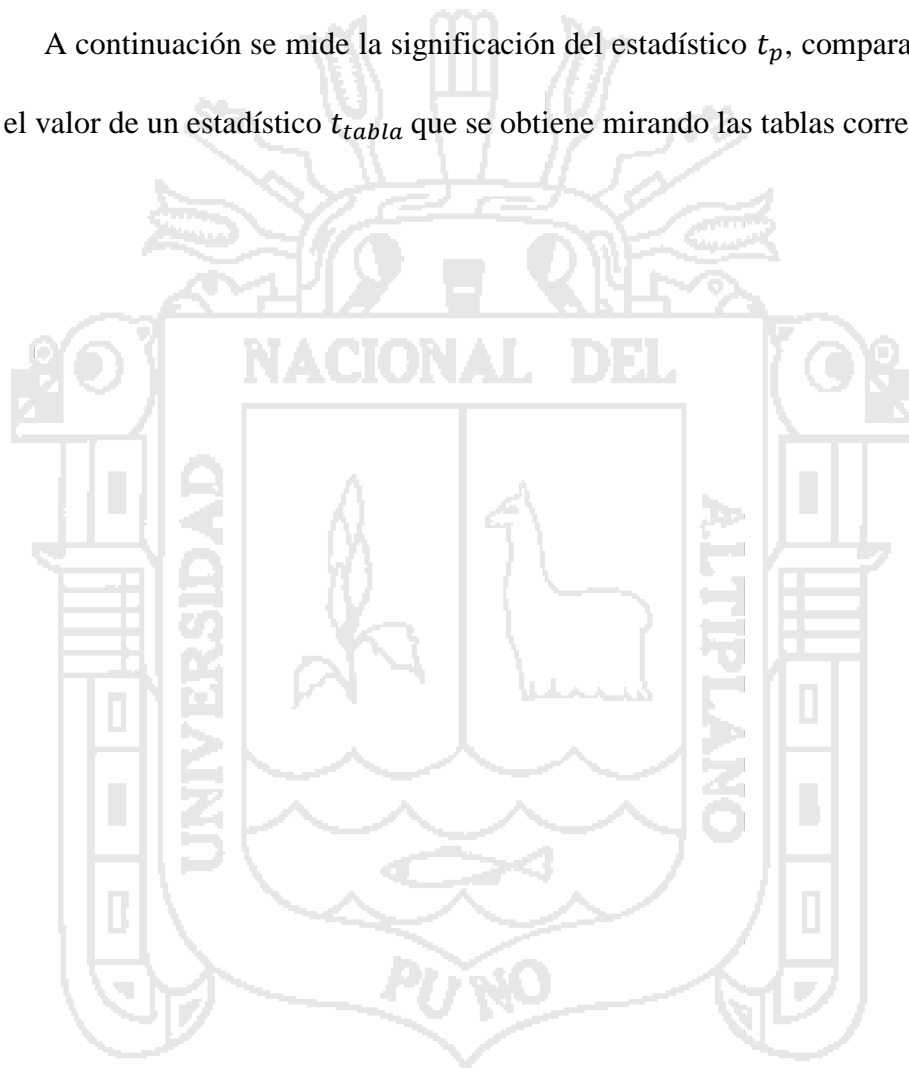
Donde

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

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

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

A continuación se mide la significación del estadístico  $t_p$ , comparando ese valor con el valor de un estadístico  $t_{tabla}$  que se obtiene mirando las tablas correspondientes.

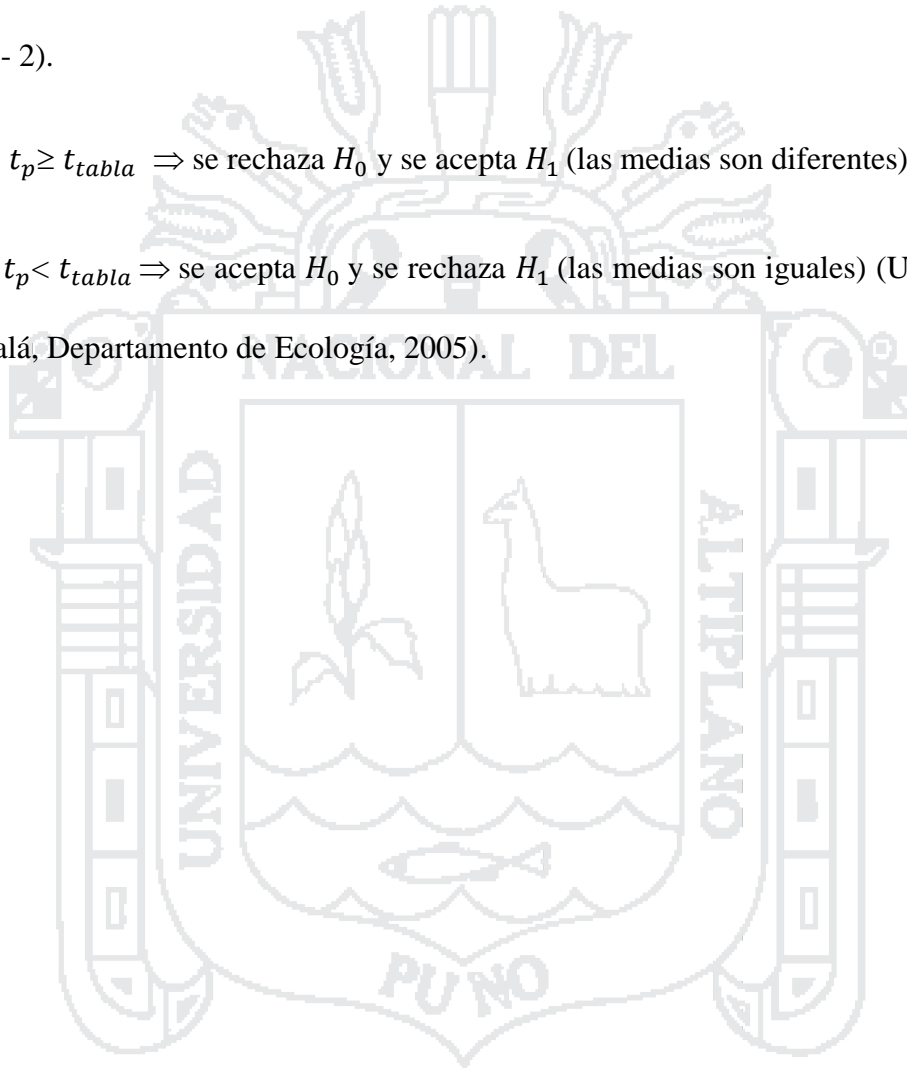




Para identificar el  $t_{tabla}$  que nos corresponde hemos de fijarnos en el número de colas que tiene nuestra hipótesis (una cola o dos colas), en el nivel de significación ( $\alpha$ ) con el que pretendemos rechazar la hipótesis nula; y en los grados de libertad del test ( $n_1 + n_2 - 2$ ).

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

- Si  $t_p < t_{tabla} \Rightarrow$  se acepta  $H_0$  y se rechaza  $H_1$  (las medias son iguales) (Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología, 2005).



## CAPITULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. PROCEDENCIA Y ENSAYOS DE LOS MATERIALES A UTILIZAR EN LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. CANTERA

Los agregados usados para la elaboración del concreto en la investigación fueron obtenidos de la cantera de Cutimbo, ubicada a 24 Km., de la ciudad de Puno rumbo a la ciudad de Moquegua.

El material obtenido en cantera fue transportado al lugar donde se realizó la división de agregado fino y agregado grueso.



Figura 3.1 Colocado del material de la Cantera de Cutimbo.

### 3.1.2. AGREGADO FINO

Para la presente investigación, se utilizó el tamiz N°4 para separar el agregado en grueso y fino con ambos materiales provenientes de la cantera de Cutimbo.

El tamizado se realizó de la siguiente manera:

- Primero se realizó el extendido del material como se muestra en la figura 3.2. para realizar el secado de dicho material permitiendo así que las partículas del agregado fino no se adhieran al agregado grueso.
- Luego se realizó la separación de Agregado Fino y Agregado Grueso con el Material (ya seco) con ayuda de la malla N°4 proporcionada por el laboratorio de Construcciones.



Figura 3.2 Secado del material para la separación de Agregado Fino y Agregado Grueso.

### 3.1.2.1. GRANULOMETRÍA (NTP 400.012)

- El tamizado en laboratorio se realizó siguiendo el siguiente procedimiento:
- Tomar una muestra por cuarteo no menor que 500 gr, secarlo hasta peso constante, dejar enfriar.
- Limpiar los tamices y verificar el orden de colocación de estas en orden decreciente según tamaño de abertura: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200
- Se procede a colocar la muestra de agregado en la malla superior, y se imprime movimientos a la muestra (adelante, atrás, izquierda, derecha y circular) no se debe forzar con la mano el paso de una partícula a través de los tamices.
- Se da por finalizada la operación de tamizado, cuando en el transcurso de un minuto no pase más del 1% en peso del material sobre el tamiz.
- Retirar malla por malla y pesar el material retenido en cada una de ellas y anotar los resultados.
- Luego realizar los cálculos, como las que se muestran en los cuadros siguientes, así mismo para su mejor interpretación y verificación de los (usos) establecidos.

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



Figura 3.3. Se observa el del agregado fino al momento de realizar el cuarteo.



Figura 3.4 Se observa el tamizado del agregado fino.



Figura 3.5 Se observa el tamizado del agregado fino

Los resultados del análisis granulométrico se muestran en el Anexo A-2, donde se puede observar que la granulometría del agregado fino está dentro de los límites establecidos por la norma NTP 400.037, como se observa en la siguiente figura.

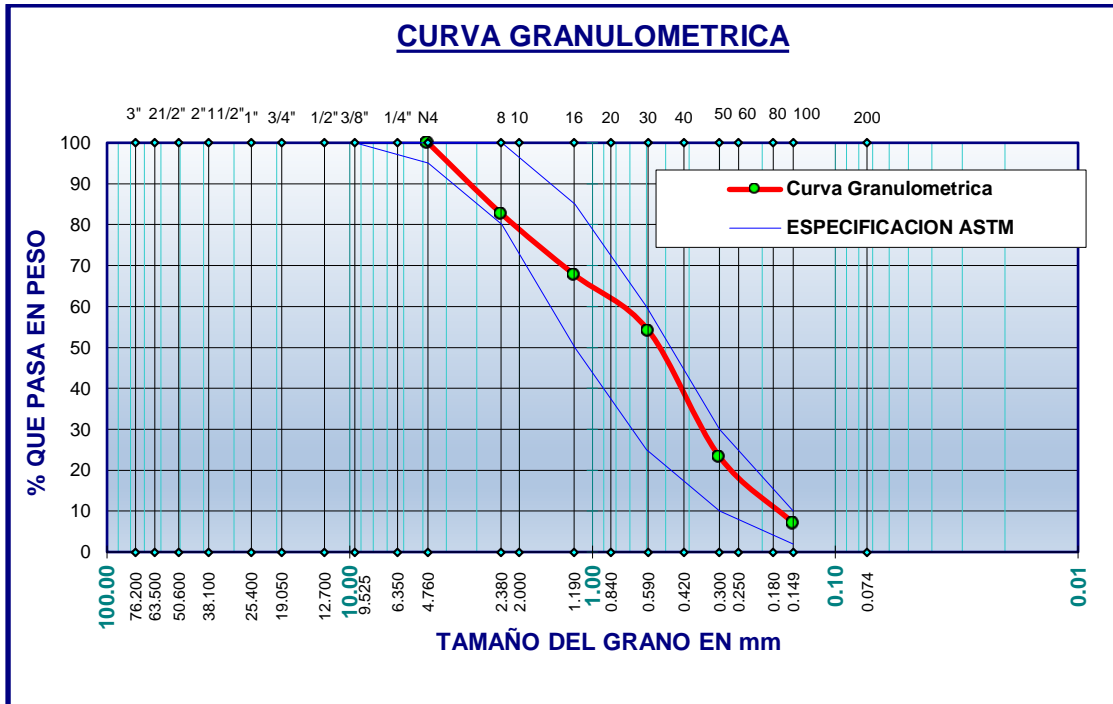


Figura 3.6 Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.2.2. MÓDULO DE FINEZA (NTP 400.011)

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

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

De donde el módulo de fineza del agregado fino ensayado es: 2.65 (ver Anexo A-2)

### 3.1.2.3. CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 400.016)

Para el contenido de humedad del agregado fino se obtuvo con la siguiente ecuación:

$$\text{Contenido de Humedad del Agregado Fino} = \frac{(\text{Peso Húmedo} - \text{Peso Seco})}{\text{Peso Seco}} * 100$$

Para lo cual se siguió el siguiente procedimiento:



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

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

En el caso de la investigación se realizó el contenido de humedad 2 días antes de la elaboración de las briquetas.



Figura 3.7 Contenido de humedad del agregado fino.

Tabla 3.1 Cálculo del contenido de humedad del agregado fino.

<b>Nro. de Tara</b>	<b>B-1</b>	<b>B-2</b>	<b>B-3</b>
Peso de Tara	16.18	19.68	20.20
Peso de Tara + M. Húmeda	135.64	137.89	152.89
Peso de Tara + M. Seca	132.25	134.58	149.15
Peso de Agua	3.39	3.31	3.74
Peso Muestra Seca	116.07	114.90	128.95

Contenido de humedad W%	2.92	2.88	2.90
Promedio cont. Humedad W%	<b>2.90</b>		

Fuente: Elaboración Propia

#### 3.1.2.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (NTP 400.022)

Se siguió el presente procedimiento:

- a) Pesar la muestra aproximadamente 1 kg.
- b) Saturar por 24 horas el material.
- c) Al día siguiente escurrir el agua y esparcir sobre una bandeja para que seque superficialmente al medio ambiente.
- d) Para comprobar si la muestra esta superficialmente seco (SSS), echar en el cono de absorción, apisonando con 25 golpes sin compactar el material, si al levantar el molde la muestra queda exacta al molde, entonces aún falta secar superficialmente, si queda desmoronado parcialmente y de punta, significa que la muestra esta superficialmente seco (SSS).
- e) Pesar 85.50 gr de la muestra superficialmente seco (SSS) e introducir la muestra en el picnómetro.
- f) Luego de poner la muestra en el picnómetro lo llenamos con agua hasta un nivel que nos permita agitar el picnómetro sin rociar el agua.
- g) Agitamos el picnómetro por un periodo de 15 a 20 minutos, con el fin de eliminar las burbujas
- h) Colocamos el picnómetro con la muestra, sobre una superficie plana y remover con una cucharilla para eliminar los vacíos (aire), sacarlo luego de verificar de que no exista aire dentro de la muestra cuando lo agitamos.
- i) Llenamos en su totalidad el picnómetro con agua a temperatura de 21 – 25°C y



luego lo cubrimos con tapa de vidrio sin ninguna burbuja.

- j) Pesar el picnómetro + muestra + agua + tapa
- k) Sacamos el agregado fino del picnómetro, para secarlo en el horno a temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ , verificamos que después de varias pesadas el material pese lo mismo, entonces anotamos el peso del material seco.
- l) Llenamos el frasco hasta su máxima capacidad con agua, esta última a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ , luego lo pesamos.
- m) Finalmente pesamos el frasco vacío.



Figura 3.8. Arena superficialmente seca después del apisonado.



Figura 3.9 Enrasado del picnómetro con material incluido.

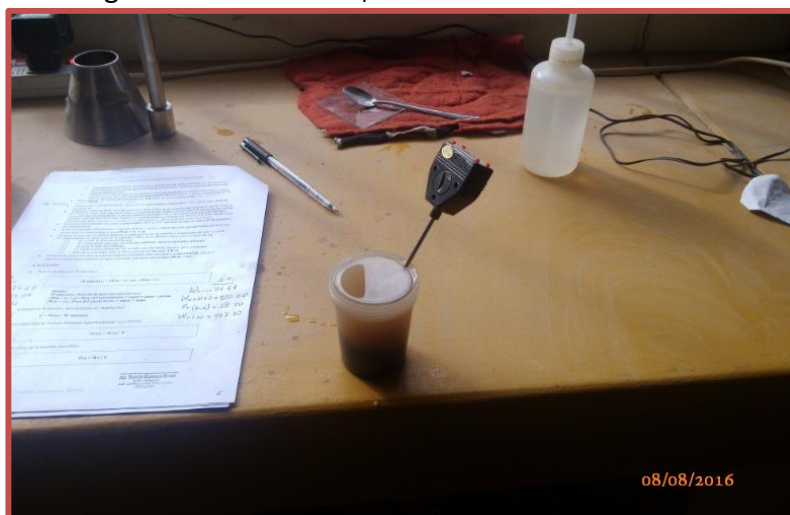


Figura 3.10 Control de temperatura del agua.

Tabla 3.2. Datos obtenidos en laboratorio para el cálculo del peso específico y absorción del agregado fino.

DATOS		
1	PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA ( $W_{sss}$ )	85.50
2	$W_{sss}$ + PESO DEL PICNÓMETRO + TAPA + AGUA ( $W_m+w+a$ )	238.14
3	PESO DEL PICNÓMETRO + TAPA + AGUA ( $W_m+w$ )	187.01
4	PESO DE LA TARA	31.25
5	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO	113.66
6	PESO SECO DE LA MUESTRA ( $W_s$ ) (5 - 4)	82.41

Fuente: Elaboración propia

### PESO ESPECÍFICO DE LOS SÓLIDOS

$$P. e. s = \frac{W_s}{(W_m - V)}$$

Donde

$P. e. s$  : Peso específico de sólidos.

$W_s$  : Peso seco de la muestra.

$W_m$  : Peso de la muestra.

$V$  : Volumen de la muestra.

**PESO ESPECÍFICO DE SOLIDOS SATURADO CON SUPERFICIE SECA**

$$P. e. SSS = \frac{85.50}{(W_m - V)}$$

**PESO ESPECÍFICO APARENTE**

$$P. e. a = \frac{W_s}{(W_m - V) - (W_{SSS} - W_s)}$$

**ABSORCIÓN**

$$\%Abs = \frac{85.50 - W_s}{W_s} \times 100$$

Reemplazando los datos:

$$W_s = 82.41 \text{ gr}, W_m = 51.13 \text{ gr}, V = 34.37 \text{ gr}$$

Tabla 3.3. Resultados peso específico (gr/cm<sup>3</sup>) y % de absorción del agregado fino.

RESULTADOS		
7	PESO DE LA MUESTRA (W muestra) (2 - 3)	51.13
8	VOLUMEN DE LA MUESTRA (V) (1 - 7)	34.37
9	PESO ESPECIFICO DE LA ARENA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA (Pesss) (1 / 8)	2.49
10	PESO ESPECIFICO DE LA MUESTRA SECA (Pes) (6 / 8)	<b>2.40</b>
11	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (% Absorción) ((1 - 6) * 100 / 6)	<b>3.75</b>

Fuente: Elaboración propia

**3.1.2.5. PESO UNITARIO (NTP 400.017)**

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

$$P.U.S = \frac{\text{Peso del material}}{\text{Volumen del recipiente}}, \text{ Peso Unitario Suelto: (P.U.S.)}$$

$$P.U.C = \frac{\text{Peso del material compactado}}{\text{Volumen del recipiente}}, \text{ Peso Unitario Compactado: (P.U.C.)}$$

Se siguió el presente procedimiento:

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



Figura 3.11. Enrasado y pesado del recipiente con la muestra para el cálculo del Peso Unitario Suelto.

Tabla 3.4. Resultados del Peso Unitario Suelto del agregado fino.

MOLDE NRO.	I	II	III
PESO DEL MOLDE (gr)	10005.00	10000.00	10005.00
PESO MOLDE + MUESTRA (gr)	19140.00	19035.00	19025.00
PESO DE LA MUESTRA (gr)	9135.00	9035.00	9020.00
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	5301.44	5301.44	5301.44
PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.723	1.704	1.701
PESO UNITARIO SUELTO TOTAL (kg/m <sup>3</sup> )		1710	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.5. Resultados del Peso Unitario Compactado del agregado fino.

MOLDE NRO.	I	II	III
------------	---	----	-----

PESO DEL MOLDE (gr)	10005.000	10000.000	10005.000
PESO MOLDE + MUESTRA (gr)	19645.000	19600.000	19680.000
PESO DE LA MUESTRA (gr)	9640.000	9600.000	9675.000
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	5301.440	5301.440	5301.440
PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.818	1.811	1.825
PESO UNITARIO COMPACTADO TOTAL (kg/m <sup>3</sup> )		1818	

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3. AGREGADO GRUESO

#### 3.1.3.1. GRANULOMETRÍA

##### TAMAÑO MÁXIMO

De acuerdo a lo explicado en la parte teórica, tomaremos el criterio establecido de la Norma NTP 400.037 siendo este un criterio más utilizado en nuestro medio, respecto al resultado del análisis granulométrico del agregado grueso se observa que el Tamaño Máximo es de 1" y el Tamaño Máximo Nominal es de ¾".

##### PROCEDIMIENTO

- a) Tomamos una muestra representativa por cuarteo la cantidad de 5 Kg.
- b) Limpiar los tamices y verificar el orden de colocación de estas en orden decreciente.
- c) Colocamos varios recipientes cerca al lugar donde se hará el ensayo, esto para colocar el material acumulado en cada tamiz.
- d) Se procede a colocar la muestra de agregado en la malla superior, y se imprime movimientos a la muestra (adelante, atrás, izquierda, derecha y circular) no se debe forzar con la mano el paso de una partícula a través de los tamices.
- e) Cuando ya se encuentre lleno de muestras los tamices, colocamos las muestras retenidas de cada tamiz en los recipientes.

- f) Se da por finalizada la operación de tamizado, cuando en el transcurso de un minuto no pase más del 1% en peso del material sobre el tamiz.
- g) Retirar malla por malla y pesar el material retenido en cada una y anotar los resultados.
- h) Después de culminar el tamizado del material se procede a pesar cada retenido, para su cálculo respectivo.

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

Los resultados del análisis granulométrico se muestran en el Anexo A-3, donde se puede observar que la granulometría del agregado Grueso están dentro de los límites establecidos (Huso 057) por la norma NTP 400.037, como se observa en la siguiente figura.

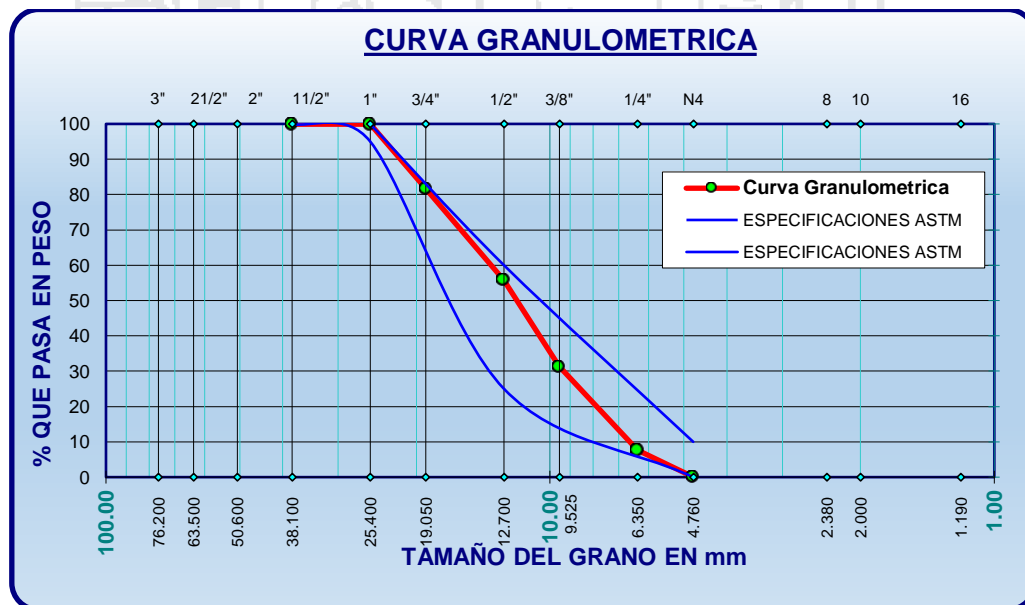


Figura 3.12. Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia





Figura 3.13. Zarandeo del agregado grueso.



Figura 3.14. Se observa el tamizado del agregado Grueso.

### 3.1.3.2. MÓDULO DE FINEZA (NTP 400.011)

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

El módulo de fineza del agregado grueso ensayado es: 6.31 (Ver Anexo A-3)

**3.1.3.3. CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 400.016)**

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

Tabla 3.6. Cálculo del contenido de humedad del agregado grueso.

Nro de Tara	A-2	A-4	A-11
Peso de Tara	16.92	18.65	20.41
Peso de Tara + M. Húmeda	125.87	140.65	136.76
Peso de Tara + M. Seca	123.83	138.30	134.59
Peso de Agua	2.04	2.35	2.17
Peso Muestra Seca	106.91	119.65	114.18
Contenido de humedad W%	1.91	1.96	1.90
Promedio cont. Humedad W%	<b>1.92</b>		

Fuente: Elaboración propia

**3.1.3.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (NTP 400.021)**

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

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

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

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

Donde

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

A : Peso de la muestra seca, en gramos.

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



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

El porcentaje de absorción se determinó por la siguiente relación:

$$\% \text{ de Absorción del Agregado Grueso} = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde

$A$  : Peso de la muestra seca, en gramos.

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

Para ello se siguió el siguiente procedimiento:

- a) Seleccionar aproximadamente 2 kg de muestra, por el método de cuarteo.
- b) Lavar la muestra seleccionada, eliminando el polvo o material adherido y se sumerge en agua durante 24 horas.
- c) Al día siguiente escurrir el agua y esparcir el material sobre la franela y con la misma secarla a fin de tenerlo en condición saturada superficialmente seco.
- d) Calibramos la balanza con la canastilla dentro del agua.
- e) Luego colocar el material dentro de la canastilla sumergida y pesar.
- f) Colocar el material ya pesado en un recipiente y llevarlo al horno por 24 horas a temperatura constante de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ .
- g) Obtenemos el peso de la muestra seca al horno.
- h) Finalmente realizamos los cálculos.



Figura 3.15. Esgurrimiento del agua y esparcido del agregado grueso sobre la franela.



Figura 3.16. Control de temperatura del agua.

Tabla 3.7. Datos obtenidos en laboratorio para el cálculo del peso específico y absorción del agregado grueso.

DATOS		
1	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	1431.25
2	PESO SUMERGIDO DE LA CANASTILLA	0.00
3	PESO SUMERGIDO DE LA CANASTILLA + MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	842.65
4	PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	842.65
5	PESO DE LA BANDEJA	327.64
6	PESO DE LA MUESTRA SECA + PESO DE LA BANDEJA	1727.63

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.8. Resultados Peso específico (gr/cc) y % de absorción del agregado grueso.

RESULTADOS		
7	PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (6-5)	1399.99
8	PESO ESPECIFICO DE LOS SOLIDOS P.E.S. (1/(1-4))	2.43
9	PESO ESPECIFICO APARENTE P.E.A. (6/(1-4))	<b>2.38</b>
10	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (% Absorción) (100*(1-6)/6)	<b>2.23</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.3.5. PESO UNITARIO (NTP 400.017)

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

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

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

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

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

Para ello se siguió el siguiente procedimiento:

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



Figura 3.17. Pesado de agregado grueso al recipiente para el cálculo del Peso Unitario Suelto y compactado.

Tabla 3.9. Resultados del Peso Unitario Suelto del agregado Grueso.

MOLDE NRO.	I	II	II
PESO DEL MOLDE (gr)	7355.000	7270.000	7270.000
PESO MOLDE + MUESTRA (gr)	15535.000	15460.000	15305.000
PESO DE LA MUESTRA (gr)	8180.000	8190.000	8035.000
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	5301.450	5301.450	5301.450
PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.543	1.545	1.516
PESO UNITARIO TOTAL (kg/m <sup>3</sup> )		<b>1534</b>	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.10. Resultados del Peso Unitario Compactado del agregado grueso.

MOLDE NRO.	I	II	II
PESO DEL MOLDE (gr)	7355.000	7270.000	7270.000
PESO MOLDE + MUESTRA (gr)	16075.000	15945.000	15925.000
PESO DE LA MUESTRA (gr)	8720.000	8675.000	8655.000
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	5301.450	5301.450	5301.450
PESO UNITARIO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.645	1.636	1.633
PESO UNITARIO TOTAL (kg/m <sup>3</sup> )		<b>1638</b>	

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4. CENIZA DE PAJA DE TRIGO UTILIZADA

La ceniza de paja de trigo utilizada fue elaborada por los propios Tesistas, ya que algunas cenizas utilizadas como sustituto parcial del cemento (ceniza volante, ceniza de cáscara de arroz, etc.) se encuentran directamente a la venta.

Para ello se fue a la ciudad de Sicuani (Cusco) para realizar el recojo de la paja de trigo por ser en esa zona donde estaba en cosecha al momento de la ejecución de la investigación.



Figura 3.18. Recojo de la Paja de Trigo.

Posteriormente se realizó la calcinación de la paja de trigo haciendo el uso de un horno de ladrillo, en donde se sabe que para la fabricación de ladrillo se llega a temperaturas superiores a los 800°C, y para tener valores favorables requeríamos una temperatura mínima de 600°C.





Figura 3.19. Momento de Combustión de la paja de trigo.



Figura 3.20. (Ceniza) Producto de la combustión de la paja de trigo.

#### **3.1.4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA CENIZA DE PAJA DE TRIGO UTILIZADA.**

El tipo de Ceniza utilizada en la investigación corresponde a la ceniza clase N, ya que se requirió la calcinación de la paja de trigo para obtener resultados favorables con respecto a la composición química de este.

El análisis de la composición química de la ceniza de paja de trigo se realizó en la ciudad de Arequipa, en Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L., donde los resultados son: (ver Anexo C-1)

Tabla 3.11. Análisis químico de la ceniza de paja de trigo utilizada

SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	LOI	SO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
74.45%	2.02%	0.56%	0.28%	0.38%	0.07%	0.31%	11.10%	4.68%	1.8%	2.16%	1.48%

Fuente: Certificado de análisis de Laboratorio Analíticos del Sur E.I.R.L. (ANEXO C-1)

La norma ASTM C 618 nos indica que:

La suma de los porcentajes de los compuestos: SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> deben ser como mínimo 70%, de la tabla anterior se observa que la suma de estos elementos es: 74.45%+0.28%+0.38%=75.11% **(CUMPLE)**.

El contenido de SO<sub>3</sub> como máximo debe ser de: 4%, en el análisis no indica que este porcentaje es 1.8% **(CUMPLE)**.

El contenido de Humedad debe ser como máximo el 3%, para la ceniza clase de paja de trigo analizada su contenido de humedad, H<sub>2</sub>O es 1.57% **(CUMPLE)**.

La pérdida de calcinación debe ser como máximo el 10%, para la ceniza clase de paja de trigo analizada su pérdida de calcinación LOI es 4.68% **(CUMPLE)**.

Para el análisis físico de la ceniza de paja de Trigo, no se encontró laboratorio especializado, ya que no es común la utilización de este tipo de cenizas en nuestro país. Solo consideraremos el análisis realizado en el laboratorio de Química de la escuela profesional de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano.

Tabla 3.12. Características físicas y químicas de la ceniza de paja de Trigo.

Peso específico	1.44
Contenido de humedad	0.56%
Materia Orgánica	2.83%

Fuente: Certificado de Análisis, Facultad de ing. Química UNA-PUNO (Anexo C-2)

Además se realizó el análisis del producto (en peso) resultante de la combustión

de la paja de trigo, ya que el peso de la ceniza de paja de trigo es muy reducido al peso inicial de la paja de trigo como se puede apreciar en el anexo C-2.

Tabla 3.13. Propiedades físicas y químicas de la ceniza de paja de trigo.

Materia Orgánica	6.49%
------------------	-------

Fuente: Laboratorio de E.P. Química (Anexo C-2)

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

Por último se realizó el análisis de los gases emitidos por el humo desprendido por la paja de trigo, con ayuda del el equipo (Analizador de Gases) del laboratorio de la Escuela Profesional de Química, dándonos los siguientes resultados:

Tabla 3.14. Propiedades físicas y químicas de la ceniza de paja de trigo.

Parámetros	Unidad	Concentraciones de: (Registro Promedio)				
		CO	NO	NO2	NO3	SO2
Primera medida de 01:20:00pm a 01:30:00pm	ppm	52.5	3.5	0	4	0
Primera medida de 04:50:00pm a 05:00:00pm	ppm	64.48	5	0	5	0

Fuente: Laboratorio de E.P. Química (Anexo C-3)

Donde se evidencia una escases de presencia de gases contaminantes tanto al ambiente como al ser humano.



Figura 3.21. Evaluación de la Emisión de Gases al momento de la combustión.



### 3.1.5. CEMENTO UTILIZADO

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

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

Se hizo el análisis del peso específico del cemento utilizado, esto en el Laboratorio de la facultad de Ingeniería Química de la UNA, lo cual fue de: 3.14 (ver Anexo C-2)

### 3.1.6. AGUA

El agua utilizada en la presente Investigación es Agua Potable para consumo humano tomada directamente de un domicilio cercano a la ciudad Universitaria.

## 3.2. PREPARACIÓN DEL CONCRETO

Para la preparación del concreto se tuvo en consideración las propiedades físicas de los agregados analizado en el laboratorio, los cuales se mencionan en la tabla 3.15.

Tabla 3.15 Características físicas de los materiales para el diseño.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CEMENTO	CENIZA DE PAJA DE TRIGO	AGREGADOS	
				FINO	GRUESO
Tamaño máximo	Pulg.			N° 4	3/4"
Peso específico	gr/cm <sup>3</sup>	3.14	1.44	2.40	2.38
Peso unitario suelto	kg/m <sup>3</sup>			1563	1534
Peso unitario compactado	kg/m <sup>3</sup>			1717	1638
Contenido de humedad	%			2.90	1.92
Absorción	%			3.75	2.23
Módulo de fineza				2.65	6.31

Fuente: Elaboración Propia

### 3.2.1. MÉTODO DE DISEÑO DEL ACI.

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

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

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

#### 3.2.1.1. DISEÑO DEL CONCRETO PATRÓN

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

##### A. Selección de la resistencia Promedio

Como no contamos con un registro de resultados de ensayos que nos posibilite el cálculo de desviación estándar, entonces la resistencia promedio requerida deberá ser determinada empleando los valores de la Tabla 3.16.

Tabla 3.16 Resistencia a la compresión promedio

$f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$f'_{cr}$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Menos de 210	$f'_c + 70$
210 a 350	$f'_c + 84$
sobre 350	$f'_c + 98$

Fuente: Enrique Rivva López "Diseño de Mezclas", Pág. 63

El  $f'_c$  requerido es de 210 kg/cm<sup>2</sup>, sin embargo utilizando la tabla 3.2.2 es:

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

**B. Selección del Tamaño Máximo Nominal del Agregado**

Tamaño Máximo Nominal: 3/4"

**C. Selección del Asentamiento**

Slump: 3" a 4" (Mezcla plástica)

**D. Selección de volumen unitario de agua de diseño**

Entrando en la tabla 3.17 se determina el volumen unitario de agua, o agua de diseño, necesario para una mezcla de concreto cuyo asentamiento es de 3" a 4", en una mezcla sin aire incorporado cuyo agregado grueso tiene un tamaño máximo nominal de 3/4".

Tabla 3.17 Volumen Unitario de agua

Asentamiento	Agua, en lt/m <sup>3</sup> , para los tamaños Máximos Nominales de agregado grueso y consistencia indicados							
	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	---
Concretos Con Aire Incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	---

Fuente: Enrique Rivva López "Diseño de Mezclas", Pág. 82

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

**E. Selección del contenido de aire**

Tabla 3.18 Contenido de Aire atrapado

Tamaño Máximo Nominal	Aire atrapado
3/8"	3.0%
1/2"	2.5%
3/4"	2.0%
1"	1.5%
1 1/2"	1.0%
2"	0.5%
3"	0.3%
6"	0.2%

Fuente: Enrique Rivva López "Diseño de Mezclas", Pág. 89

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

**F. Selección de la relación agua-cemento**

Tabla 3.19 Relación Agua - Cemento por resistencia

f'cr (28 días)	Relación Agua - Cemento de diseño en peso.	
	Concretos Sin Aire Incorporado	Concretos Con Aire Incorporado
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	---
450	0.38	---

Fuente: Enrique Rivva López "Diseño de Mezclas", Pág. 95

Entrando en la tabla 3.19 para una resistencia promedio correspondiente a 294 kg/cm<sup>2</sup> en un concreto sin aire incorporado, se encuentra una relación agua-cemento por resistencia de 0.56

**G. Factor cemento**

$$\text{Factor cemento} = 205/0.56 = 366.07 \text{ kg/m}^3 = 8.61 \text{ bolsas/m}^3.$$

**H. Contenido de agregado grueso**

Tabla 3.20 Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

Tamaño Máximo Nominal	Volumen de agregado grueso, seco y compactado, por unidad de volumen del concreto, para diversos Módulos de Fineza del Agregado Fino			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	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	0.65
1 ½"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72

Fuente: Enrique Rivva López "Diseño de Mezclas", Pág. 120

Entrando a la tabla 3.20, con el módulo de fineza del agregado fino de 2.65 y un tamaño máximo nominal del agregado grueso de ¾", se encuentra un valor de 0.635 metros cúbicos de agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen.

$$\text{Peso del agregado Grueso} = 0.635 \times 1638 = 1040.13 \text{ kg/m}^3.$$

**I. Cálculo de volúmenes absolutos**

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

Volumen absoluto de:

Según el análisis físico químico de minerales realizado en el Laboratorio de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA-Puno, el peso específico del cemento

portland IP marca Rumi es: 3.14 (Ver Anexo C-2)

$$\text{Cemento:} \quad 366.07/3.14 \times 1000 = 0.117 \text{ m}^3$$

$$\text{Agua:} \quad 205/1 \times 1000 = 0.205 \text{ m}^3$$

$$\text{Aire:} \quad 0.02/1 \times 1 = 0.020 \text{ m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso:} \quad 1040.13/2.38 \times 1000 = 0.437 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de volúmenes conocidos:} \quad = \mathbf{0.779 \text{ m}^3}$$

#### J. Contenido de agregado fino

$$\text{Volumen absoluto A. Fino} = 1 - 0.779 = 0.221 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del A. Fino Seco} = 0.221 \times 2.40 \times 1000 = 531.33 \text{ kg/m}^3.$$

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

$$\text{Cemento:} \quad 366.07 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua de diseño} \quad 205.00 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino seco:} \quad 531.33 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso seco:} \quad 1040.13 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de la mezcla:} \quad \mathbf{2142.60 \text{ kg/m}^3}$$

#### L. Corrección por humedad del agregado

Peso húmedo del:

$$\text{Agregado Fino} \quad = 531.33 \times (1 + 0.0290) = 546.74 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso} \quad = 1040.13 \times (1 + 0.0192) = 1060.10 \text{ kg/m}^3$$

#### M. Contribución de agua de los agregados

- Humedad superficial de los Agregados

$$\text{Agregado Fino} \quad = 2.90 - 3.75 = -0.85\%$$

$$\text{Agregado Grueso} \quad = 1.92 - 2.23 = -0.31\%$$

$$\text{Total} = -1.16\%$$

- Aporte de humedad de los Agregados

$$\text{Agregado Fino seco: } 531.33 * (-0.0085) = -4.52 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso seco: } 1040.13 * (-0.0031) = -3.22 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Aporte de humedad de los Agregados: } -7.74 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva: } 205 - (-7.74) = 212.74 \text{ Lt/m}^3$$

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

$$\text{Cemento: } 366.07 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agua efectiva: } 212.74 \text{ Lt/m}^3$$

$$\text{Agregado Fino húmedo: } 546.74 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Agregado Grueso húmedo: } 1060.10 \text{ kg/m}^3$$

#### O. Proporciones en peso de los materiales corregidos

$$\text{Cemento} = 366.07/366.07 = 1$$

$$\text{Agregado Fino} = 546.74/366.07 = 1.49$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1060.10/366.07 = 2.90$$

$$\text{Agua} = 212.74/366.07 = 0.58$$

#### P. Cantidad de materiales corregidos por Bolsa

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

$$\text{Agua efectiva} = 0.58 \times 42.5 = 24.7 \text{ Lt/Bol}$$

$$\text{Agregado Fino} = 1.49 \times 42.5 = 63.5 \text{ Kg/Bol}$$

$$\text{Agregado Grueso} = 2.90 \times 42.5 = 123.1 \text{ Kg/Bol}$$

### 3.2.1.2. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO PARA DIFERENTES PORCENTAJES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

Existen diversidades de recomendaciones para porcentajes en el uso de Puzolanas artificiales, pero en esta investigación tomaremos los porcentajes tomados basados en un máximo de 10% (cantidad adoptada por motivos de ultima trabajabilidad) y divididos en cantidades de 0%, 2.5%, 5%, 7.5% y 10 %.

Tabla 3.21. Resumen de materiales en peso.

Descripción	Pesos kg/m <sup>3</sup>				
	100%	97.5%	95%	92.5%	90%
% Cemento	100%	97.5%	95%	92.5%	90%
% Ceniza de paja de Trigo	0%	2.5%	5%	7.5%	10%
Relación a/(c +cpt)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Cemento	366	356.9	347.7	338.6	329.4
Ceniza de paja de Trigo	0	9.1	18.3	27.4	36.6
Agregado fino	530.4	530.4	530.4	530.4	530.4
Agregado grueso	1060.10	1060.10	1060.10	1060.10	1060.10
Agua	212.73	212.73	212.73	212.73	212.73
Material cementante	366	366	366	366	366

Fuente: Elaboración propia

### APLICACIÓN DEL MÉTODO DE PESO EQUIVALENTE DE CENIZAS VOLANTES EN EL USO DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO DEL ACI.

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



El contenido de cenizas se especifica como un porcentaje en masa ( $F_w$ ) o en volumen ( $F_v$ ) del total de material cementante. Para determinar el contenido de cenizas el ACI anota: “los métodos para proporcionar y evaluar las mezclas de concreto que contienen cenizas volantes pueden basarse en mezclas de prueba usando un rango de proporciones de ingredientes y evaluando sus efectos en la resistencia, los requerimientos de agua, y otras propiedades para determinar la cantidad óptima de cenizas, los siguientes son rangos generales basados en el porcentaje de cenizas por el peso total de material cementante usado en la mezcla para concreto estructural: Clase F – 15 al 25% y Clase C – 15 al 35%”

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

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

#### **APLICACIÓN DEL MÉTODO:**

El proceso de diseño de mezclas por este método se detalla en el Anexo D, donde se sigue el procedimiento indicado en el acápite anterior.

Enseguida se muestra el resumen de las proporciones halladas:

Tabla 3.22. Resumen de materiales por el método de peso equivalente

Descripción	Pesos Kg/m <sup>3</sup>				
	100.00%	97.50%	95.00%	92.50%	90.00%
% Cemento	100.00%	97.50%	95.00%	92.50%	90.00%
% Ceniza de Paja de Trigo	0.00%	2.50%	5.00%	7.50%	10.00%
Relación a/(c + cpt)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Cemento	366.07	356.92	347.77	338.62	329.46
Ceniza de Paja de Trigo	0.00	9.15	18.30	27.46	36.61
Agregado Fino	546.74	538.24	529.74	521.25	512.46
Agregado Grueso	1060.10	1060.10	1060.10	1060.10	1060.10
Agua	212.74	212.74	212.74	212.74	212.74
Relación a/(c + cpt) Efectiva	0.58	0.58	0.58	0.58	0.58
Material Cementante	366.07	366.07	366.07	366.08	366.07

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.2.2. ELABORACIÓN DE TESTIGOS

Para la presente investigación se utilizó briquetas cilíndricas de 4" x 8" (100 mm x 200 mm) luego se almacenaron hasta que endurezcan en las condiciones de curado.

Para comprobar las modificaciones entre briquetas de 6"x12" y las de 4"x8" se realizó una comparación entre ambas llegando a resultados semejantes.

#### El equipo necesario

- Mezcladora de concreto tipo trompo de 6 Pie<sup>3</sup>
- Una carretilla buggy para el transporte del concreto fresco.
- Los Moldes usados para formar los especímenes fueron de metal, los primeros fueron de 6"x12" y los demás fueron de 4" x 8"
- Varilla apisonadora con punta redondeada de 5/8" de diámetro y 60cm de longitud.
- Mazo de goma de 0.5 kg.
- Cuchara para el muestreo y plancha de albañilería



Figura 3.22. Colocado de Tubos de PVC para adaptar a los moldes disponibles en laboratorio.

### Moldeado de los cilindros de prueba

- Se colocó los moldes de cilindros en una superficie nivelada.
- Se engrasó con aceite la pared y la base interior de los moldes cilíndricos.
- Se llenó el molde en tres capas iguales con la cuchara.
- Se compactó la capa apisonando, con una varilla de  $\frac{3}{4}$ " en caso de los moldes de 4"x8" y con una varilla de  $\frac{5}{8}$ " en caso de los moldes de 6"x12", 25 veces uniformemente distribuidas en cada capa.
- Se enrazó la parte superior con la plancha de albañil para obtener una superficie lisa y nivelada.
- Finalmente se le marco en la superficie la fecha y el tipo de concreto vaciado.



Figura 3.23 Mezclado del concreto.



Figura 3.24 Llenado de moldes y apisonado de mezcla de concreto en tres capas iguales.



Figura 3.25. Moldes vaciados con concreto, para su posterior desencofrado luego de 24 horas de vaciado.

### 3.2.3. PROCESO DE CURADO DE TESTIGOS

Para el curado de la muestras se construyó una poza de curado con las siguientes características, largo: 4.0 m, ancho 1.50 m y 0.50 m de alto, ésta ubicada en una habitación como se aprecia en la figura 4.5.



Figura 3.26 Poza para curado.





Figura 3.27 Colocado de las Primeras muestras a la poza.

Respecto al curado, el reglamento Nacional de Edificaciones en la Norma E-60, indica: “El concreto deberá ser curado y mantenido sobre los 10°C por lo menos los 7 primeros días después de su colocación; en el caso de concreto con alta resistencia inicial este tiempo podrá reducirse a 3 días. Si se usa cemento tipo IP o IPM el curado deberá mantenerse como mínimo los primeros 10 días.”.

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

Enseguida dichas muestras fueron introducidas en la poza de curado hasta esperar el momento de su rotura y ser sometidas a los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días.

### 3.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO (PRUEBA DE HIPÓTESIS)

La hipótesis a probar es la siguiente:

“La inclusión de un porcentaje de Ceniza de Paja de Trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP con agregados de la cantera Cutimbo mejora las características mecánicas del concreto convencional”.

Para esta situación lo que se va a probar es: Si las características mecánicas del concreto mejoran con el sustituto de ceniza de paja de trigo por el cemento, en distintas proporciones del peso de cemento de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%, frente a un concreto patrón (sin ceniza de paja de trigo).

#### 3.3.1. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

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

Se va a probar la hipótesis sobre la diferencia de medias, Si la resistencia del concreto mejora con el sustituto de cenizas de paja de trigo por el cemento, en distintas proporciones del peso de cemento de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%, frente a un concreto patrón (sin ceniza de paja de trigo).

$H_0$ : La adición de un porcentaje de ceniza de paja de trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP no mejora la resistencia a compresión del concreto.

$H_1$ : La adición de un porcentaje de ceniza de paja de trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP mejora la resistencia a compresión del concreto.



La hipótesis Nula:  $H_0: \mu_{\bar{X}_{CPT}} \leq \mu_{\bar{X}_C}$

La hipótesis Alternativa:  $H_1: \mu_{\bar{X}_{CPT}} > \mu_{\bar{X}_C}$

Donde

$\mu_{\bar{X}_{CPT}}$  : Representa a la media aritmética de la resistencia a compresión del concreto con diferentes proporciones de ceniza de paja de trigo.

$\mu_{\bar{X}_C}$  : Representa la media aritmética del concreto patrón (sin ceniza de paja de trigo).

### **Paso N° 02: Nivel de significancia**

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

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

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

Se utilizará el método de la t de Student para la prueba de Hipótesis, ya que tenemos variables independientes cuantitativas, el número de variables es menor a 30.

## PRUEBA DE HIPÓTESIS CON LA DISTRIBUCIÓN T DE STUDENT

Como la hipótesis a probar es: La adición de un porcentaje de ceniza de paja de trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP mejora la resistencia a compresión del concreto.

Entonces nuestra hipótesis es de la forma:

$$\mu_{\bar{X}_{CPT}} > \mu_{\bar{X}_C}$$

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

Hipótesis nula:  $H_0: \mu_{\bar{X}_{CPT}} \leq \mu_{\bar{X}_C}$

Hipótesis alternativa:  $H_1: \mu_{\bar{X}_{CPT}} > \mu_{\bar{X}_C}$

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

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

$\bar{X}_{CPT}$ : Medias de las resistencias a compresión del concreto con ceniza de paja de trigo en distintas proporciones del peso de cemento de 2.5%, 5%, 7.5% y 10%

$\bar{X}_C$ : Medias de las resistencias a compresión del concreto patrón (sin ceniza de paja de trigo)

Por ejemplo para la resistencia a compresión del concreto a los 28 días con “97.50% Cemento Portland + 2.50% Ceniza de Paja de Trigo” ( $97.50C + 2.50CPT$ )

Resolviendo:

$$S_p = \sqrt{\frac{(10-1)*1.77+(10-1)*0.81}{10+10-2}} = 1.14 \qquad t_p = \frac{220.86-219.51}{1.14*\sqrt{\frac{1}{10}+\frac{1}{10}}} = 2.65$$

Similarmente para los demás tipos de concreto para todos los 28 días de edad.

Tabla 3.23 Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto a una edad de 28 días

Nº de Ensayo	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Kg-f/cm²); Edad 28 días				
	100 <sub>C</sub> +0 <sub>CPT</sub>	97.5 <sub>C</sub> +2.5 <sub>CPT</sub>	95 <sub>C</sub> +5 <sub>CPT</sub>	92.5 <sub>C</sub> +7.5 <sub>CPT</sub>	90 <sub>C</sub> +10 <sub>CPT</sub>
1	218.90	220.74	217.65	200.63	188.47
2	218.63	221.61	216.48	201.12	185.42
3	217.84	220.82	218.96	199.56	187.29
4	221.27	221.69	217.43	201.58	186.83
5	220.85	218.80	219.86	200.72	191.47
6	218.56	221.58	218.68	198.97	192.18
7	219.22	220.76	220.56	200.36	189.81
8	219.65	219.97	215.84	201.65	190.98
9	221.73	221.48	215.20	198.28	189.63
10	218.45	221.17	217.92	200.64	188.75
$n_i$	10	10	10	10	10
$\bar{X}_i$	219.51	220.86	217.86	200.35	189.08
$S^2$	1.77	0.81	2.94	1.21	4.66
$\bar{X}_{cpt}-\bar{X}_c$		1.35	-1.65	-19.16	-30.43
$S_p$		1.14	1.53	1.22	1.79
$t_p$		2.65	-2.41	-35.12	-38.01

Fuente: Elaboración Propia

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

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

Para muestras unilaterales, se rechaza la hipótesis nula cuando:

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

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

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

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



Figura 3.28 Gráfica de la distribución *t* para  $\alpha = 0.05$  y 18 grados de libertad.

Fuente: StatKey.com - Theoretical Distribution

### Paso N° 05: Toma de una decisión

La toma de una decisión (No se rechaza  $H_0$ , o se rechaza  $H_0$  y se acepta  $H_1$ ) se hará respecto a los estadísticos de prueba calculados anteriormente para la edad de 28 días del concreto.

#### Edad de 28 días

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

Tabla 3.24 Decisión de la hipótesis  $H_o$  con el  $t_p$  para el concreto a 28 días de edad.

Descripción	RESISTENCIA DEL CONCRETO (Kg-f/cm <sup>2</sup> ); Edad 28 días				
	100 <sub>C</sub> +0 <sub>CPT</sub>	97.5 <sub>C</sub> +2.5 <sub>CPT</sub>	95 <sub>C</sub> +5 <sub>CPT</sub>	92.5 <sub>C</sub> +2.5 <sub>CPT</sub>	90 <sub>C</sub> +10 <sub>CPT</sub>
$t_p=$		2.65	-2.41	-35.12	-38.01
$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_1+ n_2 - 2=$		18	18	18	18
$t_{tabla}=$		1.73	1.73	1.73	1.73
Decisión		Se Rechaza $H_o$	No se Rechaza $H_o$	No se Rechaza $H_o$	No se Rechaza $H_o$

Fuente: Elaboración propia

De la anterior tabla se puede obtener dos observaciones:

Los estadísticos de prueba para el concreto de: 97.5<sub>C</sub>+2.5<sub>CPT</sub> cae en la región donde “Se Rechaza la  $H_o$ ” de la curva de t student ( $t_p > t_{tabla}$ ), donde la  $H_o$  afirma que la resistencia a compresión del concreto con ceniza de paja de trigo es menor a la de un concreto sin ceniza de paja de trigo ( $\mu_{\bar{x}_{CPT}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$ ), y se acepta la hipótesis alternativa. Por lo tanto la resistencia a compresión del concreto con ceniza de paja de trigo (97.5<sub>C</sub>+2.5<sub>CPT</sub>) es mayor a la de un concreto sin ceniza de paja de trigo (100<sub>C</sub>+0<sub>CPT</sub>) a la edad de 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

Los estadísticos de prueba para el concreto de: 95<sub>C</sub>+5<sub>CPT</sub>, 92.5<sub>C</sub>+7.5<sub>CPT</sub> y 90<sub>C</sub>+10<sub>CPT</sub> caen en la región donde “No se Rechaza la  $H_o$ ” de la curva de t student ( $t_p < t_{tabla}$ ). Por lo tanto no se rechaza la hipótesis Nula que afirma que la resistencia a compresión del concreto con ceniza de paja de trigo (95<sub>C</sub>+5<sub>CPT</sub>, 92.5<sub>C</sub>+7.5<sub>CPT</sub> y 90<sub>C</sub>+10<sub>CPT</sub>) es significativamente menor a la de un concreto sin ceniza de paja de trigo (100<sub>C</sub>+0<sub>CPT</sub>) a una edad de 28 días, con un nivel de significancia de 0.05 (5%).

### DECISIÓN RESPECTO A LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

La tabla muestra el resumen de todo lo analizado anteriormente, con respecto a la resistencia a la compresión del concreto para diferentes porcentajes de ceniza de paja de trigo:

La hipótesis Nula ( $H_0$ ) planteada es:

$H_0$ : La adición de un porcentaje de ceniza de paja de trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP no mejora la resistencia a compresión del concreto.

Tabla 3.25 Resumen de análisis de datos con el estadístico t de student

Descripción		100 <sub>C</sub> +0 <sub>CPT</sub>	97.5 <sub>C</sub> +2.5 <sub>CPT</sub>	95 <sub>C</sub> +5 <sub>CPT</sub>	92.5 <sub>C</sub> +7.5 <sub>CPT</sub>	90 <sub>C</sub> +10 <sub>CPT</sub>
Concreto con 28 días de edad	$t_p =$		2.65	-2.41	-35.12	-38.01
	$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$n_1 + n_2 - 2 =$		18	18	18	18
	$t_{\text{tabla}} =$		1.73	1.73	1.73	1.73
	Decisión		Se Rechaza $H_0$	No se Rechaza $H_0$	No se Rechaza $H_0$	No se Rechaza $H_0$

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 3.24 podemos decir que: Se acepta la hipótesis de investigación que afirma que la adición de un porcentaje de Ceniza de Paja de Trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP con agregados de la cantera Cutimbo mejora la resistencia del concreto a compresión a la edad de los 28 días, dicho porcentaje de ceniza de paja de trigo es el 2.5% del peso del cemento portland puzolánico IP de diseño.

Los resultados de análisis de resistencia a la compresión del concreto analizado se pueden visualizar en el acápite 4.1.2 lo cual refuerzan lo indicado en la presente sección.

### 3.3.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS PARA LA TRABAJABILIDAD DEL CONCRETO FRESCO

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

Se va a probar la hipótesis sobre la diferencia de medias, Si la trabajabilidad del concreto fresco mejora con el sustituto de ceniza de paja de trigo por el cemento, en distintas proporciones del peso de cemento de 2.5%, 5%, 7.5% y 20%, frente a un concreto patrón (sin ceniza de paja de trigo).

Las hipótesis serian de la siguiente manera:

$H_0$ : La adición de un porcentaje de ceniza de paja de trigo al concreto fresco como sustituto del cemento portland puzolánico IP no mejora la trabajabilidad del concreto fresco.

$H_1$ : La adición de un porcentaje de ceniza de paja de trigo al concreto fresco como sustituto del cemento portland puzolánico IP mejora la trabajabilidad del concreto fresco.

La hipótesis Nula:

$$H_0: \mu_{\bar{x}_{CPT}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$$

La hipótesis Alternativa:

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{CPT}} > \mu_{\bar{x}_C}$$

Donde

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

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

### **Paso N° 02: Nivel de significancia**

Usaremos el mismo nivel de significancia para la resistencia a compresión del concreto,



el cual es:  $\alpha = 0.05$  (5%)

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

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

Prueba de hipótesis con la Distribución T de Student

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

Entonces nuestra hipótesis es de la forma:

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

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

Hipótesis nula:

$$H_0: \mu_{\bar{x}_{CPT}} \leq \mu_{\bar{x}_C}$$

Hipótesis alternativa:

$$H_1: \mu_{\bar{x}_{CPT}} > \mu_{\bar{x}_C}$$

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

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

$\bar{X}_{CPT}$  : Medias de la medida de los asentamientos del concreto fresco con ceniza de paja de trigo en distintas proporciones del peso de cemento de 2.5%, 5%, 7.5%, y 10%

$\bar{X}_c$  : Medias de la medida de los asentamientos del concreto fresco patrón (sin ceniza de paja de trigo)

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

Tabla 3.26 Cálculo del estadístico de prueba  $t_p$  para el concreto fresco.

Nº de Ensayo	Asentamiento (cm)				
	100 <sub>C</sub> +0 <sub>CPT</sub>	97.5 <sub>C</sub> +2.5 <sub>CPT</sub>	95 <sub>C</sub> +5 <sub>CPT</sub>	92.5 <sub>C</sub> +7.5 <sub>CPT</sub>	90 <sub>C</sub> +10 <sub>CPT</sub>
1	8.15	6.57	5.36	2.84	1.30
2	8.11	6.62	5.30	2.74	1.24
$n_i$	2	2	2	2	2
$\bar{X}_i =$	8.13	6.60	5.33	2.79	1.27
$S^2$	0.0008	0.0012	0.0018	0.0050	0.0018
$\bar{X}_{cpt} - \bar{X}_c =$		-1.53	-2.80	-5.34	-6.86
$S_p =$		0.0316	0.0361	0.0539	0.361
$t_p =$		-48.42	-77.56	-99.07	-19.00

Fuente: Elaboración Propia

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

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

Para muestras unilaterales, se rechaza la hipótesis nula cuando:

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

El valor crítico, para la aceptación de rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a las tablas t student, para un nivel de significancia de 0.05 y 2 grados de libertad, queda definido en:

$$t_{\alpha, n+m-2} = t_{0.01, 2+2-2} = t_{0.05, 2} = 2.92$$

Como se muestra en la siguiente figura, donde si el  $t_p$  superior a 2.92, se rechaza la hipótesis nula, en cambio si el  $t_p$  es inferior a 2.92 no se rechaza la nula.

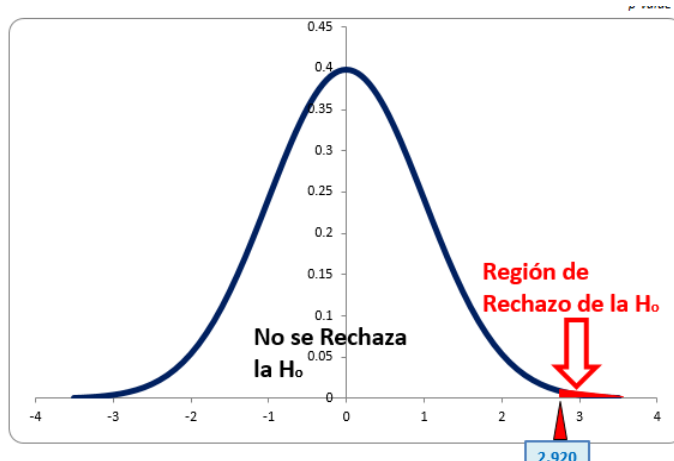


Figura 3.29 Gráfica del estadístico  $t$  para  $\alpha = 0.05$  y 2 grados de libertad.

Fuente: StatKey.com - Theoretical Distribution

### Paso N° 05: Toma de una decisión

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

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

Tabla 3.27. Decisión de la hipótesis  $H_0$  con el  $t_p$  para el concreto fresco.

Descripción	Concreto para diferentes porcentajes de ceniza de paja de trigo				
	100 <sub>C</sub> +0 <sub>CPT</sub>	97.5 <sub>C</sub> +2.5 <sub>CPT</sub>	95 <sub>C</sub> +5 <sub>CPT</sub>	92.5 <sub>C</sub> +7.5 <sub>CPT</sub>	90 <sub>C</sub> +10 <sub>CPT</sub>
$t_p =$		-48.42	-77.56	-99.07	-19.00
$\alpha$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
$n_1 + n_2 - 2 =$		2	2	2	2
$t_{\text{tabla}} =$		2.92	2.92	2.92	2.92
Decisión		No se Rechaza $H_0$	No se Rechaza $H_0$	No se Rechaza $H_0$	No se Rechaza $H_0$

Fuente: Elaboración Propia

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

### **DECISIÓN RESPECTO A LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**

Donde la hipótesis Nula ( $H_o$ ) planteada es:

$H_o$ : La adición de un porcentaje de ceniza de paja de trigo al concreto fresco como sustituto del cemento portland puzolánico IP no mejora la trabajabilidad del concreto.

De la tabla 3.26 podemos decir que “No se rechaza la  $H_o$ ”, entonces No se acepta la hipótesis de investigación que indica que la adición de un porcentaje de Ceniza de Paja de Trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP con agregados de la cantera Cutimbo mejora la trabajabilidad del concreto fresco en el proceso de mezclado.

Los resultados de análisis de la trabajabilidad del concreto fresco analizado se pueden visualizar en el acápite 4.1.1 lo cual refuerzan lo indicado en la presente sección.

## CAPITULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. RESULTADOS

##### 4.1.1. TRABAJABILIDAD

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

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

Los resultados de los ensayos se muestran en la tabla 4.1:

Tabla 4.1. Medida de asentamientos tomados en diferentes fechas de vaciado.

CONTENIDO DE CEMENTO Y CENIZA DE PAJA DE TRIGO		ASENTAMIENTO MEDIDO (SLUMP)			TRABAJABILIDAD
CEMENTO	CENIZA DE PAJA DE TRIGO	1er Ensayo	2do Ensayo	SLUMP (PULGADAS)	
100%	0%	8.15 cm.	8.11 cm.	3.2 pulg.	Trabajable
97.5%	2.5%	6.57 cm.	6.62 cm.	2.6 pulg.	Trabajable
95%	5%	5.36 cm	5.30 cm	2.1 pulg.	Poco trabajable
92.5%	7.5%	2.84 cm	2.74 cm	1.1 pulg.	Poco trabajable
90%	0%	1.30 cm	1.24 cm	0.5 pulg.	Poco trabajable

Fuente: Elaboración propia



Figura 4.1 Medición del SLUMP en diferentes porcentajes de Cemento y Ceniza.

**4.1.2. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

**4.1.2.1. CONCRETO CON 100% CONTENIDO DE CEMENTO Y 0% CONTENIDO DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO.**

Tabla 4.2 Resistencia a la compresión 100%(Cemento)+0%(Ceniza de paja de Trigo)

Edad (días)	Diámetro (cm)	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% de Resistencia	% de Resistencia que debe alcanzar	% de incremento (+) o disminución (-)	% Promedio de Resistencia
7	15.20	181.46	210	26120	147.80	70.38	67.00%	-3.76	63.18%
7	15.28	183.37	210	26880	152.10	72.43	67.00%	-2.40	
7	15.26	182.89	210	25150	146.50	69.76	67.00%	-5.31	
14	15.25	186.65	210	34250	187.76	89.41	86.00%	-7.30	78.10%
14	10.20	81.71	210	15035	184.00	87.62	86.00%	-8.50	
28	15.30	183.85	210	39746	218.90	104.24	100.00%	+4.24	104.68%
28	15.28	183.37	210	39591	218.63	104.11	100.00%	+4.11	
28	15.18	180.98	210	38925	217.84	103.73	100.00%	+3.73	
28	10.40	84.95	210	18797	221.27	105.37	100.00%	+5.37	
28	10.10	80.12	210	17694	220.85	105.17	100.00%	+5.17	
28	10.15	80.91	210	17685	218.56	104.08	100.00%	+4.08	
28	10.15	80.91	210	17738	219.22	104.39	100.00%	+4.39	
28	10.20	81.71	210	17948	219.65	104.60	100.00%	+4.60	
28	10.15	80.91	210	17941	221.73	105.59	100.00%	+5.59	
28	10.10	80.12	210	17502	218.45	104.02	100.00%	+4.02	
28	10.10	80.12	210	17618	219.90	104.71	100.00%	+4.71	
28	10.05	79.33	210	17568	221.46	105.46	100.00%	+5.46	
28	10.10	80.12	210	17538	218.90	104.24	100.00%	+4.24	
28	10.10	80.12	210	17801	222.18	105.80	100.00%	+5.80	

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis de lo ocurrido en la mezcla del concreto sin adiciones de ceniza de paja de trigo se observa que la resistencia a la compresión de este es de forma favorable con un ligero 4.68% incremento de la resistencia deseada, con lo que se comprueba el correcto uso del diseño de mezclas por el método ACI.



**4.1.2.2. CONCRETO CON 97.5% CONTENIDO DE CEMENTO Y 2.5%  
CONTENIDO DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO**

Tabla 4.3 Resistencia a la compresión 97.5%(Cemento)+2.5%(Ceniza de paja de Trigo)

Edad (días)	Diámetro (cm)	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% de Resistencia	% de Resistencia que debe alcanzar	% de incremento (+) o disminución (-)	% Promedio de Resistencia
7	15.20	181.46	210	21724	121.37	57.80	67.00%	-9.20	55.69%
7	10.12	80.44	210	8752	112.54	53.59	67.00%	-13.41	
14	15.30	183.85	210	26907	147.98	70.47	86.00%	-15.53	72.22%
14	10.15	80.91	210	12269	155.34	73.97	86.00%	-12.03	
28	15.25	182.65	210	39919	220.74	105.11	100.00%	+5.11	105.22%
28	15.30	183.85	210	40344	221.61	105.53	100.00%	+5.53	
28	15.10	179.08	210	40102	220.82	105.15	100.00%	+5.15	
28	10.10	80.12	210	17762	221.69	105.57	100.00%	+5.57	
28	10.20	81.71	210	17879	218.80	104.19	100.00%	+4.19	
28	10.04	79.17	210	17542	221.58	105.51	100.00%	+5.51	
28	10.30	83.32	210	18394	220.76	105.12	100.00%	+5.12	
28	10.20	81.71	210	17974	219.97	104.75	100.00%	+4.75	
28	10.10	80.12	210	17745	221.48	105.47	100.00%	+5.47	
28	10.15	80.91	210	17896	221.17	105.32	100.00%	+5.32	
28	10.20	81.71	210	18192	222.63	106.01	100.00%	+6.01	
28	10.02	78.85	210	17367	220.24	104.88	100.00%	+4.88	

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis de la resistencia a la compresión de las muestras de concreto con una adición del 2.5% como sustituto del cemento, se observa un ligero aumento de resistencia a los 28 días, que nos indica valores favorables con respecto al material Puzolánico utilizado en la presente investigación.

**4.1.2.3. CONCRETO CON 95% CONTENIDO DE CEMENTO Y 5%  
CONTENIDO DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO**

Tabla 4.4 Resistencia a la compresión 95%(Cemento)+5%(Ceniza de paja de Trigo)

Edad (días)	Diámetro (cm)	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% de Resistencia	% de Resistencia que debe alcanzar	% de incremento (+) o disminución (-)	% Promedio de Resistencia
7	15.10	179.08	210	18428	104.58	49.80	67.00%	-17.20	50.80%
7	10.15	80.91	210	8500	108.76	51.79	67.00%	-15.21	
14	15.25	182.65	210	25739	142.56	67.89	86.00%	-18.11	69.88%
14	10.20	81.71	210	12033	150.93	71.87	86.00%	-14.13	
28	15.25	182.65	210	39355	217.65	103.64	100.00%	3.64	103.83%
28	15.30	183.85	210	39401	216.48	103.09	100.00%	3.09	
28	15.25	182.65	210	39594	218.96	104.27	100.00%	4.27	
28	10.10	80.12	210	17420	217.43	103.54	100.00%	3.54	
28	10.15	80.91	210	17790	219.86	104.70	100.00%	4.70	
28	10.10	80.12	210	17520	218.68	104.13	100.00%	4.13	
28	10.15	80.91	210	17846	220.56	105.03	100.00%	5.03	
28	10.10	80.12	210	17293	215.84	102.78	100.00%	2.78	
28	10.15	80.91	210	17413	215.20	102.48	100.00%	2.48	
28	10.10	80.12	210	17459	217.92	103.77	100.00%	3.77	
28	10.15	80.91	210	17557	216.98	103.32	100.00%	3.32	
28	10.20	81.71	210	18052	220.92	105.20	100.00%	5.20	

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis de la resistencia a la compresión de las muestras de concreto con una adición del 5% como sustituto del cemento, se observa un ligero descenso de resistencia a los 28 días, pero aun así se aprecia que el valor obtenido todavía está sobre la resistencia deseada a los 28 días.

**4.1.2.4. CONCRETO CON 92.5% CONTENIDO DE CEMENTO Y 7.5%  
CONTENIDO DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO**

Tabla 4.5 Resistencia a la compresión 95%(Cemento)+5%(Ceniza de paja de Trigo)

Edad (días)	Diámetro (cm)	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% de Resistencia	% de Resistencia que debe alcanzar	% de incremento (+) o disminución (-)	% Promedio de Resistencia
7	15.30	183.85	210	18720	103.45	49.26	67.00%	-17.74	48.34%
7	10.15	80.91	210	7757	99.57	47.41	67.00%	-19.59	
14	15.20	181.46	210	22161	123.78	58.94	86.00%	-27.06	60.57%
14	10.10	80.12	210	10166	130.63	62.20	86.00%	-23.80	
28	15.20	181.46	210	36006	200.63	95.54	100.00%	-4.46	95.21%
28	15.15	180.27	210	36245	201.12	95.77	100.00%	-4.23	
28	15.30	183.85	210	35990	199.56	95.03	100.00%	-4.97	
28	10.15	80.91	210	16311	201.58	95.99	100.00%	-4.01	
28	10.20	81.71	210	16401	200.72	95.58	100.00%	-4.42	
28	10.10	80.12	210	15941	198.97	94.75	100.00%	-5.25	
28	10.25	82.52	210	16533	200.36	95.41	100.00%	-4.59	
28	10.15	80.91	210	16316	201.65	96.02	100.00%	-3.98	
28	10.20	81.71	210	16202	198.28	94.42	100.00%	-5.58	
28	10.10	80.12	210	16075	200.64	95.54	100.00%	-4.46	
28	10.15	80.91	210	15801	195.28	92.99	100.00%	-7.01	
28	10.10	80.12	210	16061	200.47	95.46	100.00%	-4.54	

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis de la resistencia a la compresión de las muestras de concreto con una adición del 7.5% como sustituto del cemento, se observa un descenso notable de resistencia a los 28 días, lo cual nos indica que ya no es un porcentaje favorable para el diseño de mezclas.

**4.1.2.5. CONCRETO CON 90% CONTENIDO DE CEMENTO Y 10%  
CONTENIDO DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO**

Tabla 4.6 Resistencia a la compresión 90%(Cemento)+10%(Ceniza de paja de Trigo)

Edad (días)	Diámetro (cm)	Área de sección (cm <sup>2</sup> )	Resistencia de diseño a 28 días (kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza (Kg)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% de Resistencia	% de Resistencia que debe alcanzar	% de incremento (+) o disminución (-)	% Promedio de Resistencia
7	15.30	183.85	210	16113	90.45	43.07	67.00%	-23.93	42.40%
7	10.15	80.91	210	6860	87.62	41.72	67.00%	-25.28	
14	15.20	181.46	210	18031	102.36	48.74	86.00%	-37.26	50.70%
14	10.10	80.12	210	8648	110.59	52.66	86.00%	-33.34	
28	15.20	181.46	210	33800	188.47	89.75	100.00%	-10.25	90.05%
28	15.15	180.27	210	32805	185.42	88.30	100.00%	-11.70	
28	15.30	183.85	210	33362	187.29	89.19	100.00%	-10.81	
28	10.15	80.91	210	14969	186.83	88.97	100.00%	-11.03	
28	10.20	81.71	210	15646	191.47	91.18	100.00%	-8.82	
28	10.10	80.12	210	15858	192.18	91.51	100.00%	-8.49	
28	10.25	82.52	210	15207	189.81	90.39	100.00%	-9.61	
28	10.15	80.91	210	15453	190.98	90.94	100.00%	-9.06	
28	10.20	81.71	210	15495	189.63	90.30	100.00%	-9.70	
28	10.10	80.12	210	15272	188.75	89.88	100.00%	-10.12	
28	10.15	80.91	210	15218	189.94	90.45	100.00%	-9.55	
28	10.10	80.12	210	15558	188.54	89.78	100.00%	-10.22	

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el análisis de la resistencia a la compresión de las muestras de concreto con una adición del 10% como sustituto del cemento, se observa que ya a este porcentaje, la resistencia a la compresión es muy inferior a la deseada, y al realizar la comparación de esta resistencia junto con la trabajabilidad (slump) que tiene este, se ve que ya no tenemos resultados favorables dando por finalizado la sustitución del cemento por ceniza de paja de trigo.



Figura 4.2 Rotura de briquetas de 6"x12" y de 4"x8" respectivamente.

## 4.2. DISCUSIÓN

### 4.2.1. GENERALIDADES

Para la presentación de la investigación se realizaron ensayos a los siguientes materiales usados:

- Agregado Fino, procedente de la cantera Cutimbo.
- Agregado Grueso, procedente de la cantera Cutimbo.
- Cemento Portland Rumi Tipo IP.
- Ceniza de Paja de Trigo, elaborada por los propios tesisistas.
- Agua potable, de la red de suministro de la ciudad Universitaria (UNA PUNO)

## ENSAYOS PRELIMINARES

Se ensayaron los agregados (Fino y Grueso) para poder hallar sus propiedades físicas. También se hizo el análisis Químico de la Ceniza de Paja de Trigo, para conocer si cumple los requisitos de la Norma ASTM C618-3 para ser colocado en el concreto.

Para el concreto patrón, los porcentajes de arena y piedra para el agregado global se halló de acuerdo a las tablas indicadas en el método de diseño de mezclas del ACI.

Se utilizó un mismo diseño de mezclas para la elaboración del concreto, cabe indicar que se consideró la misma relación agua/cemento para todas las muestras de concreto (Concreto normal y Concreto con diferentes porcentajes de ceniza de paja de trigo).

Las condiciones de curado fueron realizadas a la temperatura de aproximadamente 13°C. (Cabe indicar que esta temperatura representa la temperatura del agua y del medio normal en nuestra zona).

### 4.2.2. AGREGADOS

#### 4.2.2.1. AGREGADO FINO

El agregado fino usado en la presente investigación es de la cantera “Cutimbo”. En la gráfica de la curva granulométrica (ver Anexo A-2) se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por la Norma NTP 400.012.

#### 4.2.2.2. AGREGADO GRUESO



El agregado grueso usado es de la cantera “Cutimbo”. En la gráfica de la curva granulométrica (ver Anexo A-3) se puede apreciar que la curva se encuentra dentro de los límites determinados por el Huso 57, determinado por la Norma NTP 400.037.

#### 4.2.2.3. CENIZA DE PAJA DE TRIGO

La ceniza de paja de trigo utilizada cumple con la norma ASTM-C-618-03 con respecto a la composición química, como se muestra en la tabla 4.7.

Tabla 4.7. Resultados de los ensayos químicos de la ceniza de paja de trigo.

	Resultados obtenidos	Requisitos para la ceniza de Clase N
Dióxido de silicio (SiO <sub>2</sub> ) + óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) + óxido de fierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ), min %	75.11	70.00
Trióxido de azufre (SO <sub>3</sub> ), máx. %	1.8	4.00
Contenido de humedad, máx. %	1.57	3.00
Pérdida por calcinación, máx. %	4.68	10.00

*Fuente: Análisis físico químico de la ceniza de paja de trigo (Ver Anexo C-1 y C-2)*

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

El peso específico de la ceniza de paja de trigo fue de 1.44 gr/cm<sup>3</sup> (Anexo C-2)



### 4.2.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO

#### 4.2.3.1. TRABAJABILIDAD

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

Se evaluó la trabajabilidad con base en la prueba de revenimiento en el cono de Abrahams, ASTM C 143. En la tabla 4.8. se muestran los resultados obtenidos en esta prueba.

Tabla 4.8. Resumen de resultados de ensayos de Trabajabilidad

Cemento	Ceniza de paja de Trigo	Asentamiento Promedio (pulg.)	% de trabajabilidad	% disminución de trabajabilidad
100%	0%	3.2 "	100.00%	0.00%
97.5%	2.5%	2.6 "	85.25%	14.75%
95%	5%	2.1 "	65.63%	34.37%
92.5%	7.5%	1.1 "	34.38%	65.62%
90%	70%	0.5 "	15.63%	84.37%

*Fuente: Elaboración propia*

Se observa que a medida que se aumenta la sustitución de ceniza de paja de trigo, disminuye notablemente la trabajabilidad del concreto fresco.

Según estos resultados se puede ver que la inclusión de ceniza de paja de trigo a las mezclas no mejoró la trabajabilidad, por el contrario se obtuvieron menores; esto se debe a que el reemplazo de la ceniza de paja de trigo se realizó en peso, y al tener la ceniza de paja de trigo un densidad mucho menor a la del cemento se tuvo un mayor volumen de cementantes.

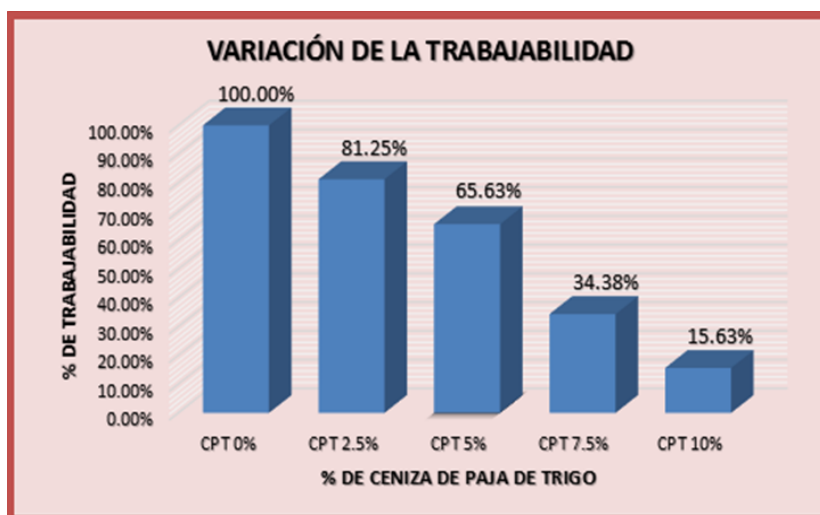


Figura 4.3 Distribución de Trabajabilidad del concreto Fresco.  
Fuente: Elaboración Propia

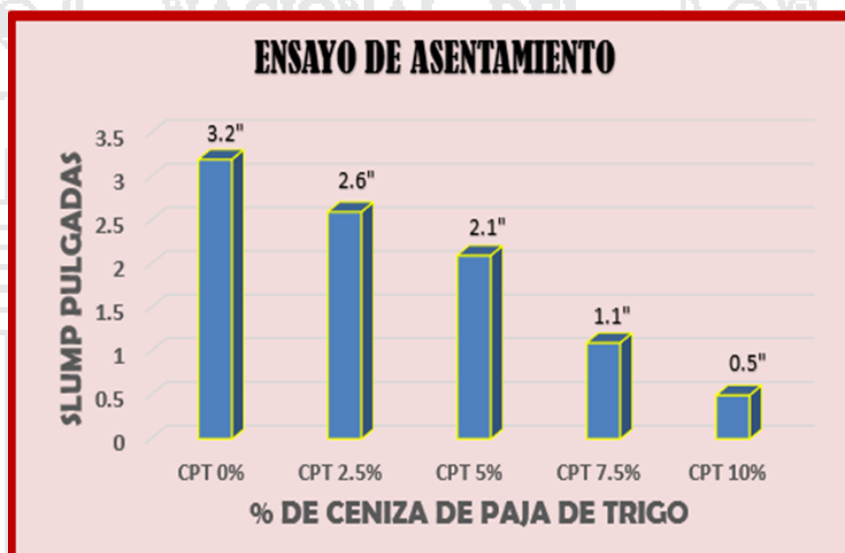


Figura 4.4 Variación de asentamiento según porcentajes de ceniza de paja de trigo  
Fuente: Elaboración Propia

#### 4.2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

##### 4.2.4.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se muestran los resultados promedios de resistencia final obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión para el concreto con diferentes porcentajes de ceniza de paja de trigo a los 7, 14 y 28 días, tal como se muestra en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Resistencia a la compresión promedio obtenido

Concreto con:		Resistencia a la compresión con respecto a 210 kg/cm <sup>2</sup>					
Cemento	Ceniza de Paja de Trigo	7 días		14 días		28 días	
		kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%
Resistencia teórica ->		140.70	67.00%	180.60	86.00%	210.00	100.00%
100%	0%	132.67	63.18%	164.01	78.10%	219.82	104.68%
97.5%	2.5%	116.96	55.69	151.66	72.22%	220.96	105.22%
95%	5%	106.67	50.80	146.75	69.88%	218.04	103.83%
92.5%	7.5%	101.51	48.34%	127.21	60.57%	199.94	95.21%
90%	10%	89.04	42.40%	106.48	50.70%	189.11	90.05%

Fuente: Elaboración Propia

Con los datos de la tabla 4.9 se pueden representar gráficamente, como indica en la figura

4.5

A pesar que los antecedentes de investigaciones realizadas con otra clase de puzolanas tales como ceniza de cascara de arroz, etc.; obtuvieron resultados satisfactorios al reemplazar ceniza hasta un 15% del cemento, en la presente investigación se observa que se logra conservar la resistencia concreto sólo hasta un máximo de 5% de ceniza de paja de trigo como sustituto del cemento portland Puzolánico IP, frente al concreto patrón.

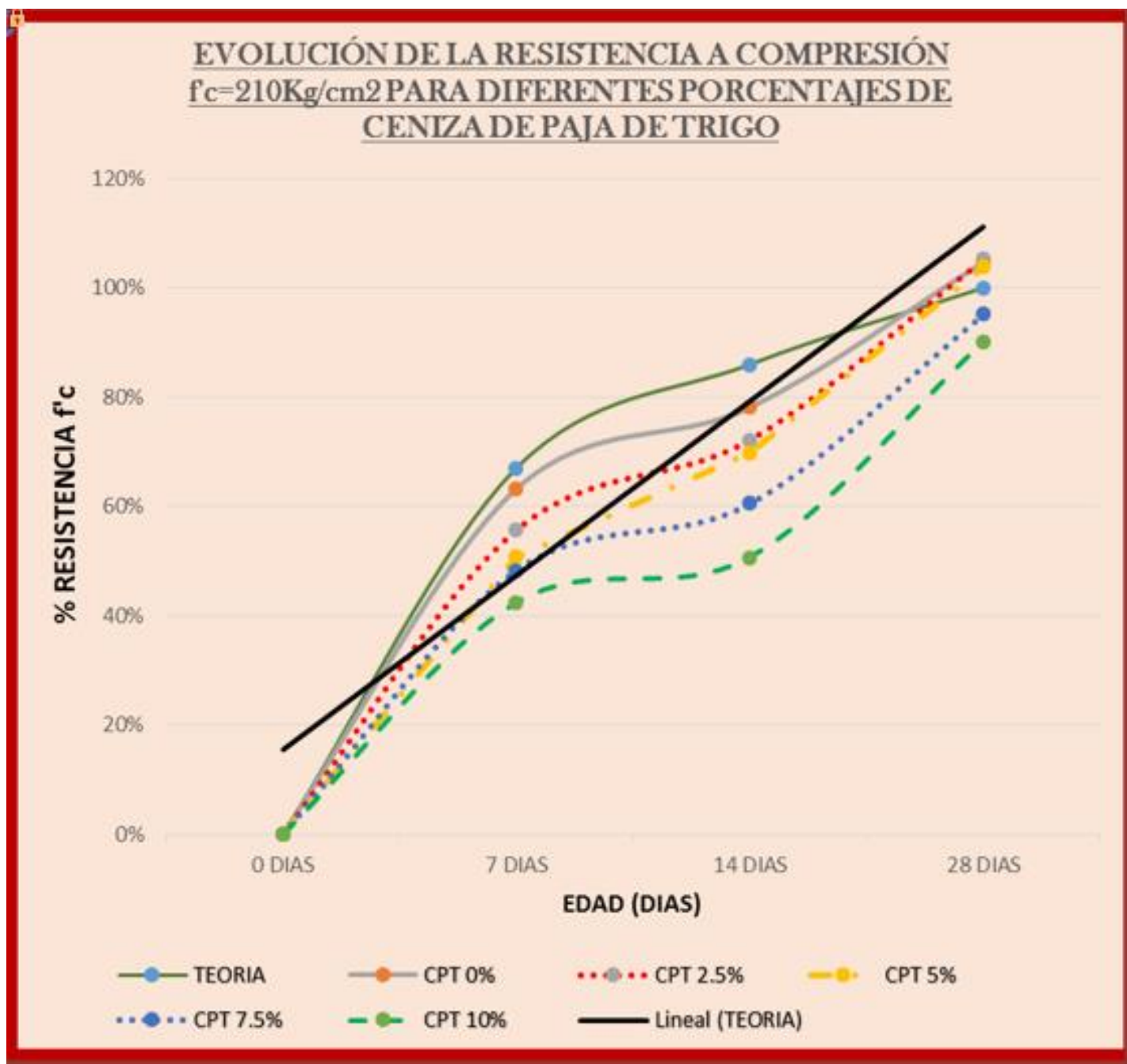


Figura 4.5. Evolución de la Resistencia a Compresión obtenidos para diferentes porcentajes de Ceniza de paja de trigo.

Fuente: Elaboración propia

Como se puede ver la ceniza de paja de trigo utilizada recién a los 28 días llega a conservar la resistencia a la compresión frente al concreto patrón en un máximo de 5% como sustituto del cemento portland Puzolánico IP.

#### 4.2.5. ANÁLISIS DE COSTO:

No se tiene un costo directo acerca de la venta de este tipo de puzolana, por no estar en el mercado a libre disposición. Pero se podría citar los costos referidos a otro tipo de puzolana artificial tales como son:

- Ceniza de Cáscara de Arroz S/. 100 /tonelada

Considerando un costo de traslado de S/5 000.00 desde la ciudad de Chiclayo hasta la ciudad de Puno por la cantidad de 30 toneladas se tendría que:

Para una tonelada un costo de S/. 166.67, entonces el costo por tonelada incluido transporte sería de: **S/. 266.67** y finalmente el costo por Kg. Sería: **S/. 0.27**

- Ceniza Volante \$. 0.50/tonelada

Considerando un costo de traslado de S/4 000.00 desde la ciudad de Ilo hasta la ciudad de Puno por la cantidad de 30 toneladas se tendría que:

Para una tonelada un costo de S/. 133.33, entonces el costo por tonelada incluido transporte, y considerando un tipo de cambio \$ 1.00 = S/. 3.29 sería de: **S/. 134.98** y finalmente el costo por Kg. Sería: **S/. 0.13**

- Ceniza de paja de trigo

Como referencia obtenida por la compra de la paja de trigo tenemos que el costo por un saco de 50 Kg. Se adquirió por S/. 8.00. cada uno. Entonces por Tonelada tendríamos un costo de S/. 160.00/tonelada

Consideraremos un costo de producción similar a la de la ceniza de cáscara de arroz, por ser ambos desechos agroindustriales equivalente a S/. 100.00/tonelada.

Considerando un costo de traslado de S/1 000.00 por movimiento dentro de la región de Puno en un camión que realiza un traslado de 30 Toneladas, se tendría que para una tonelada el costo sería de S/. 33.33.

Y finalmente considerando todos los gastos realizados para tener la ceniza de paja de trigo como puzolana puesto en obra se tendría un costo de: S/. 160.00 + S/. 100.00 + **S/.33.33 = 293.33/ Tonelada** o también de **S/. 0.29 / Kilogramo**.

Ahora finalmente se tiene que tener en cuenta que al reemplazar la ceniza de paja de trigo por cemento, se están reemplazando elementos con diferentes densidades (Ceniza<Cemento), por lo que el volumen obtenido será relativamente mayor, dicha variación de volúmenes se pueden observar en el ANEXO D, obteniendo:

Para 100% Cemento y 0% Ceniza de paja de trigo = 1.000 m<sup>3</sup>.

Para 97.5% Cemento y 2.5% Ceniza de paja de trigo = 1.003 m<sup>3</sup>.

Para 95% Cemento y 5% Ceniza de paja de trigo = 1.007 m<sup>3</sup>.

Para 92.5% Cemento y 7.5% Ceniza de paja de trigo = 1.010 m<sup>3</sup>.

Para 90% Cemento y 10% Ceniza de paja de trigo = 1.013 m<sup>3</sup>.

Por último se realizamos lo cálculos:

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

Tabla 4.10. Costo del concreto patrón

Material	Cantidad usada	Cantidad equivalente	Costo Unitario	Precio para 1 m <sup>3</sup>
Cemento 100%	366 kg/(1)m <sup>3</sup>	8.61 bls	S/. 21.60	S/. 185.98
CPT 0%	0 kg/(1)m <sup>3</sup>	0.00 Kg	S/. 0.29	S/. 0.00
Agregado Fino	547 kg/ (1)m <sup>3</sup>	0.22 m <sup>3</sup>	S/. 55.00	S/. 12.10
Agregado Grueso	1060 kg/ (1)m <sup>3</sup>	0.44 m <sup>3</sup>	S/. 57.50	S/. 25.30
Agua	213 Lt/ (1)m <sup>3</sup>	0.21 m <sup>3</sup>	S/. 4.72	S/. 0.99
<b>Costo total para 1 m<sup>3</sup> de concreto en Soles</b>				<b>S/. 224.37</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.11. Costo del concreto: 97.5% cemento + 2.5% ceniza de paja de trigo

Material	Cantidad usada	Cantidad equivalente	Costo Unitario	Precio para 1.003 m <sup>3</sup>	Precio para 1 m <sup>3</sup>
Cemento 97.5%	357 kg/(1.003)m <sup>3</sup>	8.40 bls	S/. 21.60	S/. 181.44	S/. 180.90
CPT 2.5%	9 kg/(1.003)m <sup>3</sup>	9.00 Kg	S/. 0.29	S/. 2.61	S/. 2.60
Agregado Fino	547 kg/ (1.003)m <sup>3</sup>	0.22 m <sup>3</sup>	S/. 55.00	S/. 12.10	S/. 12.06
Agregado Grueso	1060 kg/(1.003)m <sup>3</sup>	0.44 m <sup>3</sup>	S/. 57.50	S/. 25.30	S/. 25.22
Agua	213 Lt/(1.003) m <sup>3</sup>	0.21 m <sup>3</sup>	S/. 4.72	S/. 0.99	S/. 0.99
<b>Costo total para 1.003 m<sup>3</sup> de concreto en Soles</b>				<b>S/. 222.44</b>	<b>S/. 221.77</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.12. Costo del concreto: 95% cemento + 5% ceniza de paja de trigo

Material	Cantidad usada	Cantidad equivalente	Costo Unitario	Precio para 1.007 m <sup>3</sup>	Precio para 1 m <sup>3</sup>
Cemento 95%	348 kg/(1.007)m <sup>3</sup>	8.18 bls	S/. 21.60	S/. 176.69	S/. 175.46
CPT 5%	18 kg/(1.007)m <sup>3</sup>	18.00 Kg	S/. 0.29	S/. 5.22	S/. 5.18
Agregado Fino	547 kg/ (1.007)m <sup>3</sup>	0.22 m <sup>3</sup>	S/. 55.00	S/. 12.10	S/. 12.02
Agregado Grueso	1060 kg/ (1.007)m <sup>3</sup>	0.44 m <sup>3</sup>	S/. 57.50	S/. 25.30	S/. 25.12
Agua	213 Lt/ (1.007)m <sup>3</sup>	0.21 m <sup>3</sup>	S/. 4.72	S/. 0.99	S/. 0.98
<b>Costo total para 1.007 m<sup>3</sup> de concreto en Soles</b>				<b>S/. 220.30</b>	<b>S/. 218.77</b>

Fuente: Elaboración propia



Tabla 4.13. Costo del concreto: 92.5% cemento + 7.5% ceniza de paja de trigo

Material	Cantidad usada	Cantidad equivalente	Costo Unitario	Precio para 1.010 m3	Precio para 1 m3
Cemento 92.5%	339 kg/(1.010)m <sup>3</sup>	7.97 bls	S/. 21.60	S/. 172.15	S/. 170.45
CPT 7.5%	27 kg/(1.010)m <sup>3</sup>	27.00 Kg	S/. 0.29	S/. 7.83	S/. 7.75
Agregado Fino	547 kg/ (1.010)m <sup>3</sup>	0.22 m <sup>3</sup>	S/. 55.00	S/. 12.10	S/. 11.98
Agregado Grueso	1060 kg/(1.010)m <sup>3</sup>	0.44 m <sup>3</sup>	S/. 57.50	S/. 25.30	S/. 25.05
Agua	213 Lt/ (1.010)m <sup>3</sup>	0.21 m <sup>3</sup>	S/. 4.72	S/. 0.99	S/. 0.98
<b>Costo total para 1.010 m<sup>3</sup> de concreto en Soles</b>				<b>S/. 218.37</b>	<b>S/. 216.21</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.14. Costo del concreto: 90% cemento + 10% ceniza de paja de trigo

Material	Cantidad usada	Cantidad equivalente	Costo Unitario	Precio para 1.013 m3	Precio para 1 m3
Cemento 90%	329 kg/(1.013)m <sup>3</sup>	7.75 bls	S/. 21.60	S/. 167.40	S/. 165.25
CPT 10%	37 kg/(1.013)m <sup>3</sup>	37.00 Kg	S/. 0.29	S/. 10.73	S/. 10.59
Agregado Fino	547 kg/ (1.013)m <sup>3</sup>	0.22 m <sup>3</sup>	S/. 55.00	S/. 12.10	S/. 11.94
Agregado Grueso	1060 kg/ (1.013)m <sup>3</sup>	0.44 m <sup>3</sup>	S/. 57.50	S/. 25.30	S/. 24.98
Agua	213 Lt/ (1.013)m <sup>3</sup>	0.21 m <sup>3</sup>	S/. 4.72	S/. 0.99	S/. 0.98
<b>Costo total para 1.013 m<sup>3</sup> de concreto en Soles</b>				<b>S/. 216.52</b>	<b>S/. 213.74</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4.15. Resumen del costo del concreto (Sólo materiales) para diferentes dosificaciones:

Concreto con:	Precio	% de costo
Cemento 100% + CPT 0%	S/. 224.37	100.00%
Cemento 97.5% + CPT 2.5%	S/. 221.77	98.84%
Cemento 95% + CPT 5%	S/. 218.77	97.50%
Cemento 92.5% + CPT 7.5%	S/. 216.21	96.36%
Cemento 90% + CPT 10%	S/. 213.74	95.26%

Fuente: Elaboración propia

La siguiente figura muestra el resumen de cada costo por metro cúbico de concreto con diferentes porcentajes de ceniza de paja de trigo:

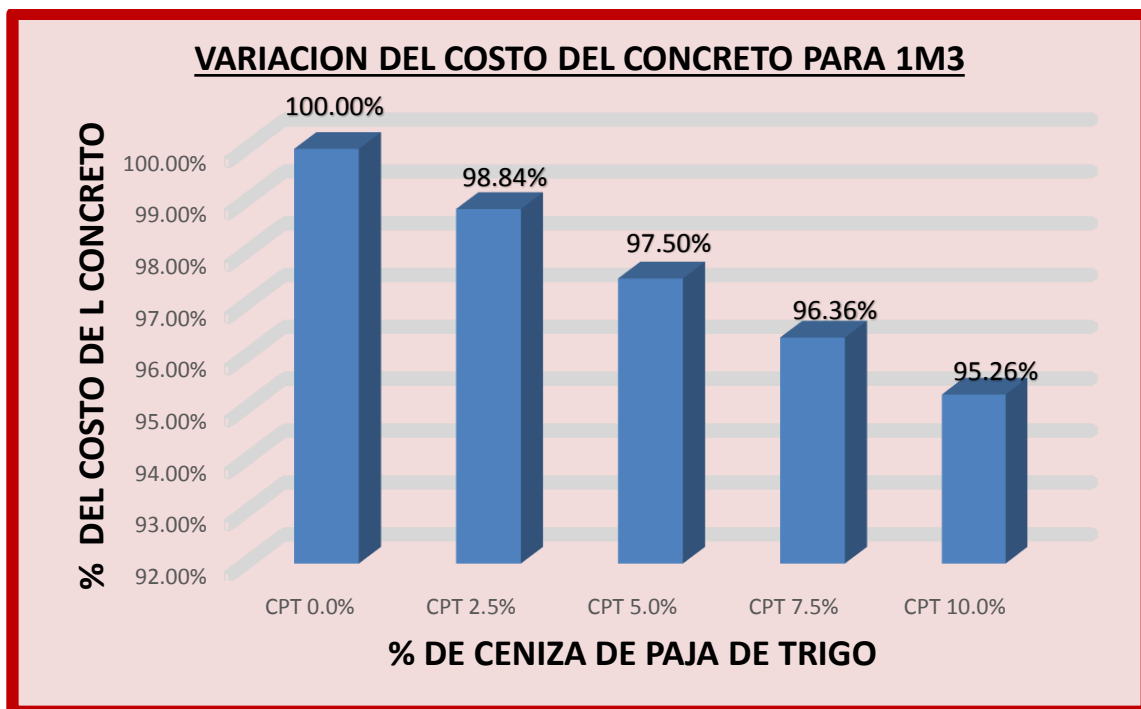


Figura 4.6 Variación del concreto en porcentajes.

Fuente: Elaboración Propia.

De la figura anterior se puede observar que el costo del concreto sin cenizas de paja de trigo es superior al concreto que contiene diferentes porcentajes de ceniza de paja de trigo. Además se observa que en los concretos donde se obtuvo resistencias a la compresión semejantes a la del concreto patrón se tuvo una diferencia de 1.16% y 2.50% con respecto al concreto sin inclusión de ceniza de paja de trigo siendo estos S/. 2.60 y S/. 5.60 respectivamente.

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIONES

- Al hacer uso de la ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento portland puzolánico IP se ha obtenido resistencias con variaciones, superiores en 0.54% (con 2.5% de ceniza) e inferiores en 0.85% (con 5% de ceniza), con respecto a un concreto convencional (sin cenizas de paja de trigo) a la edad de 28 días; para este concreto, las adiciones de ceniza fueron de 2.5% y 5% del peso del cemento portland puzolánico IP y un asentamiento (slump) de 2.6 y 2.1 pulgadas respectivamente que nos indica una disminución de la trabajabilidad.
- La composición química de la ceniza de paja de trigo resultante de la calcinación en un horno de ladrillo artesanal cumple con los requisitos químicos que exige la norma ASTM C 618-3 para el uso de puzolanas naturales calcinadas (artificiales); y una baja contaminación ambiental, al presentar poca liberación de gases contaminantes.
- La inclusión de la ceniza de paja de trigo, como sustituto del cemento portland puzolánico IP, en mezclas de concreto en porcentajes entre 2.5% y 5% tienden a conservar la resistencia a la compresión a la edad de 28 días de su elaboración.

- La inclusión de la ceniza de paja de trigo como sustituto del cemento portland puzolánico IP, en mezclas de concreto no aporta trabajabilidad a la mezcla, por el contrario esta se reduce notablemente a medida que se adiciona la puzolana artificial usada, debido a que la densidad de esta es mucho menor que la del cemento y se utilizó la misma relación agua-cementantes.
- El uso de la ceniza de paja de trigo en la elaboración de mezclas de concreto es más económico que un concreto convencional. Al analizarlo en las mejores condiciones que son en 2.5% y 5% se tiene una diferencia de costos de S/. 2.60 y S/. 5.60 soles respectivamente, lo que se considera un ahorro al hacer uso de esta puzolana artificial.
- Con respecto a los materiales y métodos utilizados, se tomó como referencia estudios realizados con respecto a otro tipo de puzolanas artificiales tales como son: ceniza de cáscara de arroz, ceniza volante, etc. Ya que en nuestro medio no existe estudios realizados acerca de la investigación a la ceniza de paja de trigo. Los materiales no cementantes usados (Agua y Agregados) fueron los más convencionales en nuestro medio, y se realizó el uso de ellos de manera igual tanto en mezclas con contenido de ceniza de paja de trigo como en mezclas sin contenido de esta.
- La combustión de la paja de trigo, no contamina el medio ambiente, por el bajo contenido de gases contaminantes tanto para el medio ambiente como para el ser humano.

## CAPITULO VI

### 6. RECOMENDACIONES

- Con respecto a la aplicación del concreto con cenizas de paja de trigo, se recomienda realizar el uso entre 2.5% y 5% en sustitución del cemento portland puzolánico IP para mezclas de concreto, y tener en cuenta la trabajabilidad que la estructura pueda requerir ya que esta disminuye mientras se aumenta la puzolana.
- Antes de colocar puzolanas naturales calcinadas al concreto, estas deben ser analizadas física y químicamente, para ver si cumplen con las recomendaciones de la norma ASTM C 618-03, además se debe considerar que cada puzolana tendrá diferente comportamiento de acuerdo a la forma de calcinación, al realizar esta calcinación se deberá tomar en cuenta hacerla en lugares donde se controle la liberación de gases contaminantes para el medio ambiente, aunque se comprobó que la contaminación ambiental es mínima.
- Se recomienda dar otro tipo de tratamiento a la ceniza de paja de trigo con respecto a la trabajabilidad, ya que al tener un bajo peso específico de la puzolana se tiene mayor cantidad de uso de cementantes y por ende una reducción de la

trabajabilidad considerable en el concreto fresco.

- Se recomienda dar más énfasis e importancia a las investigaciones con el uso de desechos agroindustriales para la construcción ya que es una gran alternativa de uso en mezclas de concreto, siempre y cuando cumplan con las exigencias de la norma ASTM C618-03.



## CAPITULO VII

### 7. REFERENCIAS.

- Abanto Castillo, F. (1994). *Tecnología del concreto*. Lima-Perú: San Marcos.
- ACAA. (2003). Fly ash facts for highway engineers. *American Coal Ash Association*.
- Achoy Bustamante, L. A. (2012). *Estadística Descriptiva y Probabilidad*. Obtenido de Universidad de Occidente, Culiacan-México:  
<https://matematicasudeo.files.wordpress.com/2012/08/estadistica-descriptiva1.pdf>
- Quero, V. G. (2016). *Desechos agroindustriales para construcción*. CONACYT.
- Aguila P., G. (2014). YURA S.A. - Class & Asociados S.A.
- Calla Salcedo, R. (2013). *Resistencia del concreto utilizando aditivos superplastificante y microsilíce con agregados de la cantera Cutimbo*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Cruz Ramirez, A. P. (2011). *Pruebas de Hipótesis para una muestra*. Extraído en diciembre del 2016, de Monografías.com: <http://www.monografias.com/trabajos30/prueba-de-hipotesis/prueba-de-hipotesis.shtml>
- Mattey, P. E. (2015). *aplicacion de cascarilla de arroz obtenida de un proceso agro-industrial para la fabricacion de blokes en concreto no estructural*. *LatinAm. Metal. Mat*
- Giraldo Bolívar, O. (1987). *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón*. Medellín-Colombia.
- Giraldo Bolivar, O. (2006). *Dosificacion de Mezclas de Hormigón*. Obtenido de Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Ingeniería Civil:  
<http://www.unalmed.edu.co/hormigon/archivos/laboratorio/mezclas04b.pdf>
- Giraldo P, E. M. (2008). El carbón: alternativa a la crisis energética en el Perú. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG, Volumen 11(N° 22)*.



- Gómez Gutiérrez, M. (2009). *Límites de consistencia de los agregados para mezclas de concreto*. Tesis, Universidad nacional autónoma de México, División de ingeniería civil y geomatica, México D.F.
- Harmsen, T. E. (1995). *Supervisión de Obras de Concreto*. Lima-Perú: ACI-Perú.
- Hernandez, R. .... (2006). *Metodología de la investigación*. Mexico: McGraw-Hiill/Interamericana editores.
- Huincho Salvatierra, E. (2011). *"Concreto de alta Resistencia usando aditivo superplastificante, microsíllice y nanosíllice con cemento portland tipo I*. Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Civil, Lima - Perú.
- Pasquel Carvajal, E. (1998). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú* (Vol. Segunda edición). Lima-Perú.
- PCA, P. C. (2004). *Diseño y control de mezclas de concreto* (Vol. Primera Edición).
- Pérez, G. C. (2010). Evaluación de uso de cascarilla de arroz como agregado orgánico en morteros de mampostería. Guatemala.
- Quevedo Haro, E. C. (2013). *Granulometría de agregados (grueso y fino)*. Manual de tecnología de materiales, Universidad Nacional del Santa, E. AP, Ingeniería civil, Chimbote - Perú.
- Rada James, J. (s.f.). *¿Por qué se ponen cenizas en el concreto?* Extraído en Diciembre del 2016, de eHow: [http://www.ehowenespanol.com/ponen-cenizas-concreto-como\\_88095/](http://www.ehowenespanol.com/ponen-cenizas-concreto-como_88095/)
- Rivva Lopez, E. (2000). *Naturaleza y Materiales del Concreto* . Lima-Peru: ACI Capítulo Peruano.
- Rivva López, E. (2007). *Diseño de Mezclas* (Segunda Edición ed., Vol. Segunda Edición). Lima.
- Rivva López, E. (2010). *Materiales para el Concreto* (2da Edición ed.). Lima: ICG.
- Sánchez Muñoz, F. L. (2015). *Relación de la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edades de 3, 7, 14, 28 y 56 días respecto a la resistencia a la compresión de cilindros de concreto a edad de 28 días*. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad privada Antenor Orrego, Trujillo.
- E., F. R. (2009). Elaboración de Concretos puzlánicos elaborados con contenido de ceniza de hoja de maiz para uso estructural. Caracas
- Suárez I., M. O. (2012). *Interaprendizaje de probabilidades y estadística inferencial con excel, winstats y graph* (Vol. Primera Edición). Ibarra-Ecuador: Imprenta Offset M &V.
- Pinel, D. E.-T. (2014). Valorización de cenizas de bagazo procedentes de honduras: posibilidades de uso en matrices de cemento Portland. Honduras

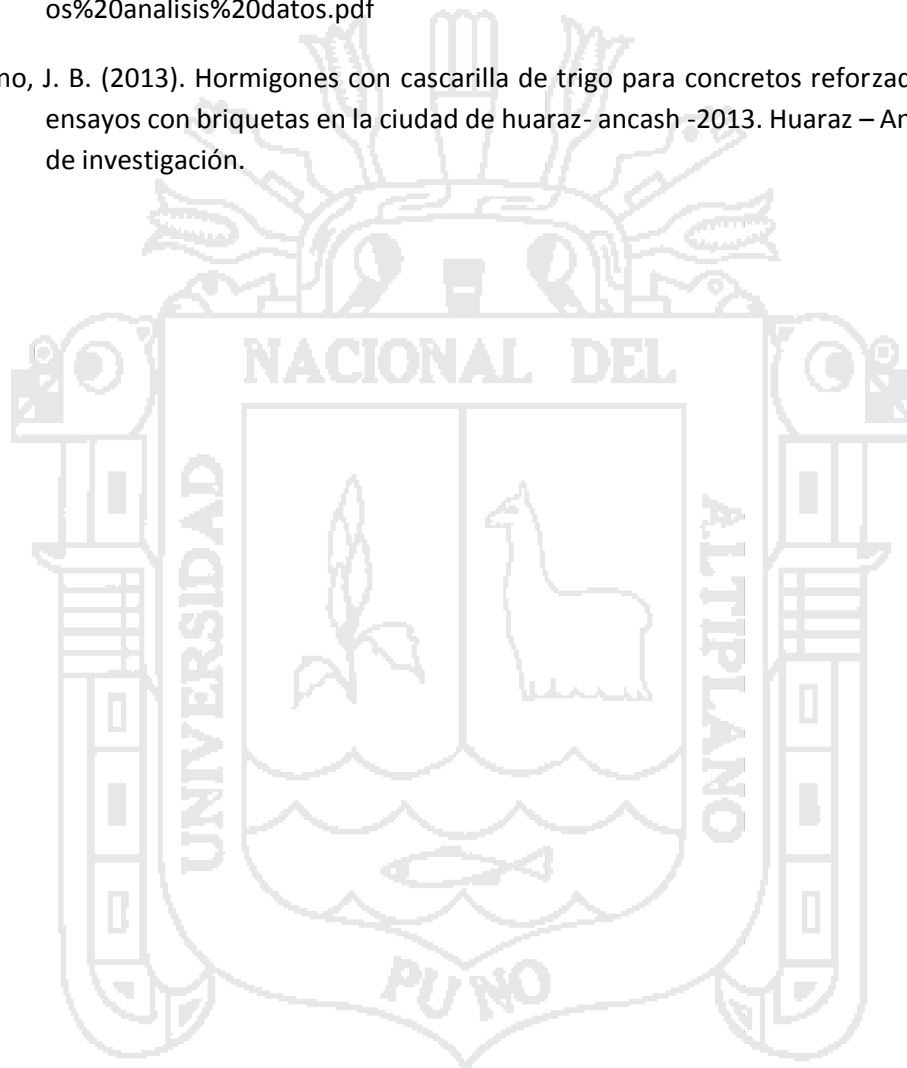
Tufino Santiago, D. R. (2009). *Variación de resistencias vs. edades y relación a/c con cemento pórtland tipo I (sol)*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma, LIMA.

Universidad de Alcalá, Departamento de Ecología. (2005). *Método de análisis de datos*.

Obtenido de Universidad de Córdoba:

<https://www.uco.es/servicios/informatica/windows/filemgr/download/ecolog/Methodos%20analisis%20datos.pdf>

ACano, J. B. (2013). Hormigones con cascarilla de trigo para concretos reforzados aplicados a ensayos con briquetas en la ciudad de Huaraz- Ancash -2013. Huaraz – Ancash – Trabajo de investigación.



## ANEXOS

## ANEXO A:

## ANEXO A-1: CERTIFICADO DE LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES.



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
**LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES**

**CERTIFICADO**

El que suscribe Jefe de Laboratorio de Construcciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil.

**CERTIFICA:**

Que los Sres. **FREDD CRISTIAN LENCINAS VALERIANO, CON DNI 72535768, BECKER IRAN INCAHUANACO CALLATA, CON DNI 45497753**, Bachilleras en Ciencias de la Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, han realizado ensayos de Laboratorio para la investigación del proyecto de Tesis con el tema **"EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO IP EN LA ZONA ALTIPLÁNICA"** del cual doy fe.

Dichos ensayos son los siguientes:

- 01 ensayo de contenido de humedad para agregados (grueso – fino).
- 01 ensayo de peso unitario de los agregados (grueso – fino).
- 01 ensayo de granulometría para agregados (grueso - fino).
- 01 ensayo de peso específico y absorción del agregado grueso.
- 01 ensayo de peso específico y absorción del agregado fino.
- Ensayo de compresión simple de briquetas de concreto:
  - ✓ 19 briquetas: cemento 100.00% + ceniza de paja de trigo 0.00%
  - ✓ 16 briquetas: cemento 97.50% + ceniza de paja de trigo 2.50%
  - ✓ 16 briquetas: cemento 95.00% + ceniza de paja de trigo 5.00%
  - ✓ 16 briquetas: cemento 92.50% + ceniza de paja de trigo 7.50%
  - ✓ 16 briquetas: cemento 90.00% + ceniza de paja de trigo 10.00%

Se expide el presente certificado a solicitud del interesado para los fines que vea por conveniente.



Ing. Gino F. Laqué Córdoba  
Jefe de Laboratorio de Construcciones

ANEXO A-2: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO FINO**

REALIZADO POR	:	LENCINAS VALERIANO, FREDD CRISTIAN INCAHUAMACO CALLATA, BECKER IRAN
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO IP EN LA ZONA ALTIPLÁNICA"
UBICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
CANTERA	:	CUTIMBO
DISEÑO	:	Ft = 215 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA	:	26 DE JULIO DEL 2016

TARJAS ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. ASTM	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
2"	50.800						% QUE PASA LA MALLA # 200: 1.72
2 1/2"	63.500						
3"	76.200						
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						
3/4"	19.050						
1/2"	12.700						
3/8"	9.525						
1/4"	6.350					100	
No.4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00	95	
No.6	2.500	195.77	17.26	17.26	82.74	86	100
No.10	2.000						
No.16	1.190	160.18	14.92	32.18	67.82	50	85
No.25	0.843						
No.30	0.750	154.22	13.60	45.78	54.22	25	60
No.40	0.425						MODULO DE FINEZA 2.65
No.60	0.250	350.18	30.68	76.46	23.34	10	
No.80	0.180						
No.100	0.149	163.05	16.21	92.68	7.12	2	10
No.200	0.074	61.30	5.41	98.09	1.72		
BASE		19.46	1.72	100.00	0.00		El modulo de fineza debe de estar dentro de los limites de 2.35 - 3.15, no debiendo excederse el limite en mas o menos 0.2
TOTAL		1132.96	100.00				
% PERDIDA							





**ANEXO A-3: GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**GRANULOMETRÍA DEL AGREGADO GRUESO**

REALIZADO POR	:	LENCINAS VALERIANO, FREDO CRISTIAN INCAHUANACO CALLATA, BECKER IRAN
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO IF EN LA ZONA ALTIPLÁNICA"
UBICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
CANTERA	:	CUTIMBO
DISEÑO	:	Fc = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA	:	26 DE JULIO DEL 2016

TAMBIEN ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	%RETENIDO PARCIAL	%RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. 1° ASTM C-2504	ESPECIFICACIONES 1° ASTM C-31
2"	50.800						P.M. 6.32
2"	50.800						
1 1/2"	38.100	-	0.00	0.00	100.00	100	
1"	25.400	-	0.00	0.00	100.00	95	
3/4"	19.050	1.162	18.30	18.30	81.61		
1/2"	12.700	1.631	25.81	44.10	55.81	25	
3/8"	9.525	1.248	24.40	68.50	31.51		
1/4"	6.350	1.408	22.70	92.30	7.61		
Núm. 4	4.750	0.481	7.61	100.00	0.00	0	
Núm. 5	3.350						
Núm. 10	2.000						MÓDULO DE FINEZA: 6.31
Núm. 16	1.180						
Núm. 20	0.840						
Núm. 30	0.600						
Núm. 40	0.420						
Núm. 60	0.250						
Núm. 80	0.180						
Núm. 100	0.140						
Núm. 200	0.075						
BASE							
TOTAL		6.320	100.00				
% PERDIDA							

DEB. TAMIZAR POR LA MALLA Nº 4 PARA SEPARAR EL AG. GRUESO Y FINO



**ANEXO A-4: PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN  
AGREGADOS FINO Y GRUESO**

REALIZADO POR	:	LENCINAS VALERIANO, FREDD CRISTIAN INCAHUANACO CALLATA, BECKER IRAN
TESIS	:	* EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO IP EN LA ZONA ALTIPLÁNICA*
UBICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
CANTERA	:	CUTIMBO
DISEÑO	:	Fc = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA	:	08 DE AGOSTO DEL 2016

**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO**

<b>I.- DATOS</b>		
1	PESO DE LA ARENA SUPERFICIALMENTE SECA (W <sub>sss</sub> )	85.50
2	W <sub>sss</sub> + PESO DEL PICNOMETRO + TAPA + AGUA (W <sub>m+w+a</sub> )	236.14
3	PESO DEL PICNOMETRO + TAPA + AGUA (W <sub>m+w</sub> )	187.01
4	PESO DE LA TARA	31.25
5	PESO DE LA ARENA SECADA AL HORNO	113.66
6	PESO SECO DE LA MUESTRA (W <sub>s</sub> ) (5 - 4)	82.41
<b>II.- RESULTADOS</b>		
7	PESO DE LA MUESTRA (W <sub>muestra</sub> ) (2 - 3)	51.13
8	VOLUMEN DE LA MUESTRA (V) (1 - 7)	34.37
9	PESO ESPECÍFICO DE LA ARENA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECA (F <sub>asss</sub> ) (1 / 8)	2.49
10	PESO ESPECÍFICO DE LA MUESTRA SECA (P <sub>es</sub> ) (6 / 7)	2.40
11	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (% Absorción) $\{(1 - 6) * 100 / 6\}$	3.75

**PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO**

<b>I.- DATOS</b>		
1	PESO DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	1431.25
2	PESO SUMERGIDO DE LA CANASTILLA	0.00
3	PESO SUMERGIDO DE LA CANASTILLA + MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	842.65
4	PESO SUMERGIDO EN AGUA DE LA MUESTRA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	842.65
5	PESO DE LA BANDEJA	327.64
6	PESO DE LA MUESTRA SECA + PESO DE LA BANDEJA	1727.63
<b>II.- RESULTADOS</b>		
7	PESO DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO (6-5)	1399.99
8	PESO ESPECÍFICO DE LOS SÓLIDOS P.E.S. $\{(1)/(1-4)\}$	2.43
9	PESO ESPECÍFICO APARENTE P.E.A. $\{(6)/(1-4)\}$	2.38
10	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN $\{100*(1-6)/6\}$	2.23



**ANEXO A-4: PESO UNITARIO DE AGREGADOS.**

	<b>FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES</b>	
<b>PESO ESPECÍFICO UNITARIO AGREGADOS FINO Y GRUESO</b>		
REALIZADO POR	:	LENCINAS VALERIANO, FREDD CRISTIAN INCAHUANACO CALLATA, BECKER IRAN
TESIS	:	"EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND FUZOLANICO IP EN LA ZONA ALTIPLÁNICA"
UBICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
CANTERA	:	CUTIMBO
DISEÑO	:	F'c = 210 Kg/cm2
FECHA	:	01 DE AGOSTO DEL 2016

<b>AGREGADO FINO</b>			
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>			
MOLDE NRO.	I	II	I
PESO DEL MOLDE gr.	7355.000	7270.000	7355.000
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	15600.000	15580.000	15665.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	8245.000	8310.000	8310.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm3.	5301.450	5301.450	5301.450
PESO UNITARIO Gr/Cm3.	1.555	1.567	1.567
PESO UNITARIO TOTAL KG/M3.	<b>1563</b>		

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>			
MOLDE NRO.	II	I	I
PESO DEL MOLDE gr.	7270.000	7355.000	7355.000
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	16320.000	16465.000	16495.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	9050.000	9110.000	9140.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm3.	5301.450	5301.450	5301.450
PESO UNITARIO Gr/Cm3.	1.707	1.718	1.724
PESO UNITARIO TOTAL KG/M3.	<b>1717</b>		

<b>AGREGADO GRUESO</b>			
<b>PESO UNITARIO SUELTO</b>			
MOLDE NRO.	I	II	II
PESO DEL MOLDE gr.	7355.000	7270.000	7270.000
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	15535.000	15460.000	15305.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	8180.000	8190.000	8035.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm3.	5301.450	5301.450	5301.450
PESO UNITARIO Gr/Cm3.	1.543	1.545	1.516
PESO UNITARIO TOTAL KG/M3.	<b>1534</b>		

<b>PESO UNITARIO COMPACTADO</b>			
MOLDE NRO.	I	II	II
PESO DEL MOLDE gr.	7355.000	7270.000	7270.000
PESO MOLDE + MUESTRA gr.	16075.000	15945.000	15925.000
PESO DE LA MUESTRA gr.	8720.000	8675.000	8655.000
VOLUMEN DEL MOLDE cm3.	5301.450	5301.450	5301.450
PESO UNITARIO Gr/Cm3.	1.645	1.636	1.633
PESO UNITARIO TOTAL KG/M3.	<b>1638</b>		



**ANEXO A-4: CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADOS.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**CONTENIDO DE HUMEDAD  
 AGREGADOS GRUESO Y FINO**

REALIZADO POR	: LENCINAS VALERIANO, FREDD CRISTIAN INCAHUANACO CALLATA, BECKER IRAN
TESIS	: " EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND IP EN LA ZONA ALTIPLÁNICA"
UBICACIÓN	: FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
CANtera	: CUTIMBO
DISEÑO	: F'c = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA	: 30 DE AGOSTO DEL 2016

**AGREGADO GRUESO**

Nro. De Tara	A-2	A-4	A-11
Peso de Tara	16.92	18.65	20.41
Peso de Tara + M. Humeda	125.87	140.65	136.76
Peso de Tara + M. Seca	123.83	138.30	134.59
Peso de Agua	2.04	2.35	2.17
Peso Muestra Seca	106.91	119.65	114.18
Contenido de humedad W%	1.91	1.96	1.90
Promedio Cont. Humedad W%	1.92		

**AGREGADO FINO**

Nro. De Tara	N-3	A-1	A-10
Peso de Tara	16.18	19.68	20.20
Peso de Tara + M. Humeda	135.64	137.89	152.89
Peso de Tara + M. Seca	132.25	134.58	149.15
Peso de Agua	3.39	3.31	3.74
Peso Muestra Seca	116.07	114.90	128.95
Contenido de humedad W%	2.92	2.88	2.90
Promedio Cont. Humedad W%	2.90		

ANEXO B: ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO

SOLICITADO POR	:	BACH. LENCINAS VALERIANO, FREDDO CRISTIAN BACH. INCACHUANO GALLATA, BECHER IRAN
PROYECTO	:	EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANCO IP EN LA ZONA ALTIPLANICA*
UBICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
MUESTRA	:	BRIQUETAS DE CONCRETO; 100% CEMENTO PORTLAND + 0.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO
DISEÑO	:	F <sub>c</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA DE EMISIÓN	:	30 DE DICIEMBRE DEL 2016

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MÓDUL	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	SLUMP (PULG)	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	ALTURA (CM)	LECTURA DEL CILINDRO (KG)	RESISTENCIA (Kg-cm/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO	% DE RESISTENCIA
1	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	09/09/2016	7	3.2"	12.43	15.20	181.46	30.50	25796	132.80	210	63.24
2	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	09/09/2016	7	3.2"	12.39	15.28	183.37	30.45	24578	135.67	210	64.66
3	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	09/09/2016	7	3.2"	12.41	15.26	182.89	30.50	23592	129.54	210	61.69
4	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	16/09/2016	14	3.2"	12.44	15.25	182.65	30.04	29889	165.28	210	78.70
5	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	16/09/2016	14	3.2"	3.64	10.20	81.71	20.03	12998	162.74	210	77.56
6	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	12.73	15.30	183.85	30.50	39746	218.90	210	104.24
7	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	12.85	15.28	183.37	30.20	39591	218.63	210	104.11
8	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	12.59	15.18	180.98	30.30	38925	217.84	210	103.73
9	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.69	10.40	84.95	20.20	18797	221.77	210	105.37
10	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.69	10.10	80.12	20.30	17694	220.85	210	105.17
11	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.71	10.15	80.91	20.20	17685	218.56	210	104.08
12	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.68	10.15	80.91	20.40	17738	219.22	210	104.39
13	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.69	10.30	81.71	20.50	17948	216.65	210	104.40
14	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.71	10.15	80.91	20.30	17941	221.73	210	105.59
15	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.65	10.10	80.12	20.20	17902	218.45	210	104.02
16	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.73	10.10	80.12	20.30	17418	218.90	210	104.71
17	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.64	10.05	79.33	20.20	17568	221.46	210	105.48
18	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.70	10.10	80.12	20.30	17538	218.90	210	104.24
19	100% CEMENTO PORTLAND + CENIZA DE PAJA DE TRIGO	02/09/2016	30/09/2016	28	3.2"	3.66	10.10	80.12	20.10	17801	222.18	210	105.80





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO**

SOLICITADO POR	:	BACH. LENCINAS VALERIANO, FREDO CRISTIAN
PROYECTO	:	BACH. INCANJANACO CALLATA, BECKER IRAN "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANCO IP EN LA ZONA ALTIPLANICA"
UBICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
MUESTRA	:	BRIQUETAS DE CONCRETO: 97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO
DISEÑO	:	F <sub>o</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA DE EMISIÓN	:	30 DE DICIEMBRE DEL 2016

Nº. DE ENLAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	SUMP. (PULG)	PESO (KG)	DIÁMETRO (CM)	ÁREA (CM <sup>2</sup> )	ALTURA (CM)	LECTURA DEL BAL. (KG)	RESISTENCIA (Ft/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO (Ft/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA
1	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	19/10/2016	7	2.6"	12.21	15.20	181.46	30.35	21724	121.37	210	57.80
2	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	19/10/2016	7	2.6"	3.65	10.12	80.44	20.50	8752	117.54	210	51.59
3	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	26/10/2016	14	2.6"	12.28	15.30	183.85	30.15	26907	147.98	210	70.47
4	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	26/10/2016	14	2.6"	3.68	10.15	80.91	20.30	12269	155.94	210	71.97
5	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	12.54	15.25	182.65	30.40	39019	220.74	210	105.11
6	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	17.48	15.30	183.85	30.30	40344	221.61	210	105.51
7	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	12.63	15.30	179.08	30.10	40102	220.82	210	105.15
8	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.63	10.30	80.12	20.20	17762	221.69	210	105.37
9	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.67	10.20	81.71	20.20	17879	218.80	210	104.19
10	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.60	10.04	79.17	20.10	17542	221.56	210	105.51
11	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.62	10.30	80.32	20.04	18394	220.70	210	105.12
12	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.64	10.20	81.73	20.08	17974	218.97	210	104.75
13	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.61	10.10	80.12	20.10	17745	221.48	210	105.87
14	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.64	10.15	80.51	20.20	17896	221.17	210	105.42
15	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.68	10.20	81.71	20.30	18192	222.63	210	106.01
16	97 50% CEMENTO PORTLAND + 2.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	2.6"	3.63	10.02	78.85	20.15	17767	220.24	210	104.88



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO**

SOLICITADO POR	:	BACH. LENICINAS VALERIANO, FREDDO CRISTIAN
PROYECTO	:	BACH. INCAHUANACO CALLATA, BECKER IRAN "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO IP EN LA ZONA ALTIPLANICA"
LUBRICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
MUESTRA	:	BRIQUETAS DE CONCRETO: 95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO
DISEÑO	:	F <sub>c</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA DE EMISIÓN	:	30 DE DICIEMBRE DEL 2016

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	SLUMP (PULG)	PESO (KG)	DIÁMETRO (CM)	ÁREA (CM <sup>2</sup> )	ALTURA (CM)	LECTURA DEL OIM (KG)	RESISTENCIA F <sub>cg</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	COEFICIENTE F <sub>cg</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA
1	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	15/09/2016	7	2.1"	12.19	15.10	179.08	30.30	18428	104.58	210	49.80
2	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	15/09/2016	7	2.1"	3.43	10.15	80.91	20.20	8500	108.76	210	51.79
3	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	22/09/2016	14	2.1"	12.44	15.25	182.65	30.40	25729	142.56	210	67.89
4	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	23/09/2016	14	2.1"	3.62	10.20	81.71	20.30	12053	150.93	210	71.87
5	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	12.25	15.25	182.65	30.30	39355	217.65	210	103.64
6	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	12.41	15.30	183.85	30.20	39401	216.48	210	103.09
7	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	12.32	15.25	182.65	30.30	39594	218.96	210	104.27
8	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.61	10.10	80.12	20.20	17420	217.43	210	103.54
9	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.70	10.15	80.91	20.30	17790	219.86	210	104.70
10	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.57	10.10	80.12	20.10	17520	218.68	210	104.13
11	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.66	10.15	80.91	20.40	17846	220.56	210	105.03
12	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.66	10.10	80.12	20.30	17293	215.84	210	102.76
13	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.62	10.15	80.91	20.30	17413	215.20	210	102.48
14	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.64	10.10	80.12	20.20	17459	217.92	210	103.77
15	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.63	10.15	80.91	20.50	17957	226.96	210	108.12
16	95.00% CEMENTO PORTLAND + 5.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	2.1"	3.63	10.20	81.71	20.10	18052	220.92	210	105.20





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO**

SOLICITADO POR	:	BACH. LENCINAS VALERIANO, FREDDO CRISTIAN
PROYECTO	:	BACH. INCAHUANACO CALLATA, BECKER IRAN "EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANCO IP EN LA ZONA ALTIPLANICA"
UBICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
MUESTRA	:	BRIQUETAS DE CONCRETO: 92.50% CEMENTO PORTLAND + 7.50% CENIZA DE PAJA DE TRIGO
DISEÑO	:	F <sub>c</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA DE EMISIÓN	:	30 DE DICIEMBRE DEL 2016

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	SLUMP (PULG)	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	ÁREA (CM <sup>2</sup> )	ALTURA (CM)	ALCANTARAL (KG)	RESISTENCIA F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO F <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA
1	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	19/10/2016	7	1.1"	12.12	15.30	183.85	30.50	187.20	103.45	210	48.28
2	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	19/10/2016	7	1.1"	3.59	10.15	80.91	20.20	7757	99.57	210	47.41
3	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	26/10/2016	14	1.1"	12.23	15.20	181.46	30.25	221.61	123.78	210	58.94
4	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	26/10/2016	14	1.1"	9.50	10.10	80.12	20.10	101.66	130.63	210	62.20
5	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	12.28	15.20	181.46	30.20	36006	200.61	210	95.94
6	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	12.16	15.15	180.27	30.10	36245	201.12	210	95.77
7	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	12.23	15.30	183.85	30.15	35990	199.56	210	95.03
8	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.49	10.15	80.91	20.10	16311	201.58	210	95.99
9	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.45	10.20	81.71	20.10	16401	200.72	210	95.58
10	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.58	10.10	80.12	20.20	15941	198.97	210	94.75
11	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.57	10.25	82.52	20.18	16533	200.36	210	95.41
12	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.49	10.15	80.91	20.15	16316	201.65	210	96.02
13	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.52	10.20	81.71	20.20	16202	198.28	210	94.42
14	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.55	10.10	80.12	20.20	16075	200.64	210	95.54
15	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.48	10.15	80.91	20.15	15921	195.28	210	92.99
16	ELSON CEMENTO PORTLAND + F.SON CENIZA DE PAJA DE TRIGO	12/10/2016	09/11/2016	28	1.1"	3.16	10.10	80.12	20.20	16061	200.47	210	95.46



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
 FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
 LABORATORIO DE CONSTRUCCIONES



**ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE DE BRIQUETAS DE CONCRETO**

SOLICITADO POR	:	BACH. LENCNAS VALERIANO, FREDD CRISTIAN BACH. INCANHUANACO CALLATA, BECKER IRAN
PROYECTO	:	"EVALUACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON ADICIONES DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO COMO SUSTITUTO EN PORCENTAJE DEL CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO IP EN LA ZONA ALTIPLANICA"
UBICACIÓN	:	FICA - CIUDAD UNIVERSITARIA
MUESTRA	:	BRIQUETAS DE CONCRETO: 90.00% CEMENTO PORTLAND + 10.00% CENIZA DE PAJA DE TRIGO
DISEÑO	:	F <sub>c</sub> = 210 Kg/cm <sup>2</sup>
FECHA DE EMISIÓN	:	30 DE DICIEMBRE DEL 2016

Nro. DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MOLDE	FECHA DE ROTURA	EDAD (DÍAS)	SLUMP (PULG)	PESO (KG)	DIAMETRO (CM)	AREA (CM <sup>2</sup> )	ALTURA (CM)	LECTURA DEL DIAL (KG)	RESISTENCIA F <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	DISEÑO F <sub>c</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	% DE RESISTENCIA
1	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	15/09/2016	7	0.5"	32.15	13.20	181.46	30.20	16113	90.45	210	43.07
2	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	15/09/2016	7	0.5"	3.25	10.20	81.71	20.10	6860	87.62	210	41.72
3	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	22/09/2016	14	0.5"	32.20	13.10	179.08	30.10	18091	102.96	210	48.74
4	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	22/09/2016	14	0.5"	3.32	10.15	80.91	20.20	6648	110.59	210	52.66
5	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	32.35	13.20	181.46	30.30	33800	188.47	210	88.75
6	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	32.28	13.10	179.08	30.25	32805	185.42	210	88.30
7	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	32.16	13.15	180.27	30.15	33362	187.29	210	88.29
8	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.28	10.10	80.12	20.10	14969	186.83	210	88.37
9	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.34	10.30	83.71	20.20	15646	191.47	210	91.18
10	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.38	10.25	82.52	20.25	15858	192.18	210	91.51
11	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.40	10.10	80.12	20.30	15207	189.81	210	90.39
12	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.31	10.15	80.91	20.20	15453	190.98	210	90.94
13	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.36	10.20	81.71	20.25	15495	189.63	210	90.30
14	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.41	10.15	80.91	20.30	15272	188.75	210	89.88
15	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.20	10.10	80.12	20.10	15218	189.94	210	90.45
16	BACH. LENCNAS VALERIANO + FREDD CRISTIAN CENIZA DE PAJA DE TRIGO	08/09/2016	06/10/2016	28	0.5"	3.29	10.25	82.52	20.15	15558	188.54	210	89.78



ANEXO C:

ANEXO C-1: ANÁLISIS QUÍMICO DE LA CENIZA DE PAJA DE TRICO – LABORATORIOS ANALÍTICOS DEL SUR.

**Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.**  
Parque Industrial Río Seco C-1 Cerro Colorado  
Arequipa Perú / Apartado 2102

Teléfono (054) 443294 Fax: (054) 444582  
www.laboratoriosanaliticosdelosur.com

Fecha de emisión: 02/08/2016  
Pág.: 1/1

**INFORME DE ENSAYO LAS-16-05232**

**Solicitante:** Fredy Cristian Lanchinas Valeriano - Bóquer Incachuraco Callata  
**Dirección:** URB. ASIRJANI PRIMERA ETAPA N2 20 LT 18 PUNO-JUNO  
**Atención:** Fredy Cristian Lanchinas Valeriano - Bóquer Incachuraco Callata  
**Recepción:** 18/07/2016  
**Realización:** 18/07/2016  
**Observación:** Laboratorio Mo realiza la toma de muestra.

**Método de ensayo aplicado**  
\*567 Método de Ensayo para Sulfatos por Digestión Específica - Fotometría  
\*590 Método de ensayo para Fosforo total por absorción  
\*700 Determinación de humedad en minerales  
\*592 Método de Ensayo para Rocas Fusión alélica (SiO<sub>2</sub>, CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, LOI)

Muestra	Nombre de muestra	Descrip. de muestra	Procedencia de la muestra	*567 SO <sub>4</sub> ppm	*590 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ppm	*700 H <sub>2</sub> O %	*592 SiO <sub>2</sub> %	*592 CaO %	*592 MgO %	*592 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	*592 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	*592 Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	*592 Na <sub>2</sub> O %	*592 K <sub>2</sub> O %	*592 LOI %
MIN16005032	CENIZA CLASE N CENIZA DE PAJA DE TRIGO	Mineral	QUEDANDO EN HORNO DE LA ORO LLO	21600	14949	1.57	74.45	2.02	0.56	0.28	0.38	0.07	0.31	11.10	4.88

\* «Valor numérico» = Límite de detección del método, \* «valor Numérico» = Límite de cuantificación del método.

Laboratorios Analíticos del Sur E.I.R.L.  
Socio: Valeriano Lanchinas Valeriano  
Gerente General  
Río Colorado 201 96118

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Los resultados solo están relacionados a la muestra ensayada.



**ANEXO C-2: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE MINERALES:  
LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA UNA - PUNO.**



Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N°0835

10-2016

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de minerales

**PROCEDENCIA** : Facultad de Ingeniería Civil UNA - Puno

**PROYECTO** : Ejecución de tesis "Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento Portland Puzolámico IP en la zona Altiplánica"

**INTERESADO** : Bach. Fredi Cristian Lencinas Valeriano  
Bach. Becker Irón Incahuano Collata

**MOTIVO** : Control de calidad

**MUESTREO** : 10/10/2016, por el interesado

**ANÁLISIS** : 10/10/2016

**COD. MUESTRA:** B - 2028/1965

---

**RESULTADOS DE LOS ANALISIS**

Parámetro	unidad	Ceniza Volante de Paja de trigo	Cemento Portland Puzolámico	METODO ANALITICO
Humedad	%	0.56	0.12	Gravimétrico/105 °C
Materia orgánica	%	2.83	<0.05	Gravimétrico/600 °C
Peso específico	PERC	1.44	3.14	Gravimétrico

---

**OBSERVACION**

1.- Los resultados se expresan sobre base seca  
2.- Temperatura promedio de análisis: 20 °C

---

Puno, C.U. 17 de noviembre de 2016.  
VºBº




Ing. M. Sc. Edith Yulo Palma  
DECANA F.L.D.

---

Ciudad Universitaria Av. Floral s/n Facultad de Ing. Química - Pabellón 94 - Telefax (051)366142 -352992.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno  
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
 LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD



N° 0882

LQ-2016

## Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis Físico Químico de: **MATERIA ORGÁNICA**  
**PROCEDENCIA** : Facultad de Ingeniería Civil UNA - Puno  
**PROYECTO** : Ejecución de Tesis: "Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento Portland Puzolánico IP en la zona Altiplánica"  
**INTERESADO** : Bach. Fredd Cristian Lencinas Valeriano  
 Bach. Becker Inán Incahuano Collata  
**MOTIVO** : Determinación de materia orgánica  
**MUESTREO** : 05/07/2016, por el interesado  
**ANÁLISIS** : 05/07/2016  
**COD. MUESTRA:** S - 1965/01

### CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	METODO
Materia Orgánica	%	6.49	Gravimétrico/700 °C

Puno, C.U. 21 de diciembre de 2016,

VºBº



*[Signature]*  
 M. Sc. Edith Yello Palme  
 DECANA F.L.D.

ANEXO C-3: ANÁLISIS DE GASES DE COMBUSTIÓN.



Universidad Nacional del Altiplano - Puno

**FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

Ciudad Universitaria - Apartado 291 - Telefax: (051) 366190 - Fax (051) 366190



LQ-2016

# Certificado de Análisis

**ASUNTO** : Análisis de: **GASES DE COMBUSTIÓN**

**PROCEDENCIA** : Facultad de Ingeniería Civil UNA - Puno

**PROYECTO** : Ejecución de Tesis: "Evaluación de mezclas de concreto con adiciones de ceniza de paja de trigo como sustituto en porcentaje del cemento Portland Puzolánico IP en la zona Altiplánica"

**INTERESADO** : Bach. Fredd Cristian Lencinas Valeriano  
Bach. Becker Irón Incahuano Callata

**MOTIVO** : Determinación de gases de combustión

**MUESTREO** : 05/07/2016, por el interesado

**ANÁLISIS** : 05/07/2016

**COD. MUESTRA:** B - Alquiler de equipo

**INSTRUMENTO** : ANALIZADOR INDUSTRIAL DE EMISIONES Y GASES DE COMBUSTIÓN

**MARCA/MODELO** : E INSTRUMENTS/E5500

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS**

PARÁMETROS	UNIDAD	CONCENTRACIONES DE:				
		(Registro promedio)				
		CO	NO	NO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Primer turno: 13:20 a 13:30	ppm	52.50	3.5	0	4	0
Segundo turno: 16:50 a 17:00	ppm	64.48	5	0	5	0

**CODICIONES DE MONITOREO:** En Situ, Al ambiente natural  
 Temperatura: Estable  
 Viento: Estable

Puno, C.U. 21 de diciembre de 2016.

V"B°



*Jose M. Sr. Edith Tello Palma*  
 DECANA F.I.Q.

**ANEXO D: METODO DEL PESO EQUIVALENTE**

**MÉTODO POR PESO EQUIVALENTE: 100% DE CEMENTO + 0.00% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	CEMENTO Y CENIZA DE PAJA DE TRIGO		
	P.E.	PESO	% CONT.
CEMENTO	3.14	42.5 Kg/Bls	100%
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	1.44		0%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS		
	UNIDAD	FINO	GRUESO
TAMAÑO MÁXIMO	Pulg	N° 4	3/4"
PESO ESPECÍFICO	gr/cm3	2.40	2.38
PESO UNITARIO SUELTO	kg/m3	1563	1534
PESO UNITARIO COMPACTO	kg/m3	1717	1638
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.90	1.92
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	3.75	2.23
MÓDULO DE FINEZA		2.65	6.31

a) **Resistencia Requerida Promedio**  
 $f'_{cp} = 294 \text{ kg/cm}^2$

b) **Valores de Diseño**

- 1.- Asentamiento 3" - 4"
- 2.- Tamaño Máximo 3/4"
- 3.- Aire Incorporado No
- 4.- Relación a/c 0.56
- 5.- Agua 205 Ltrs
- 6.- Total de Aire 2.00%
- 7.- Volumen de A.G. 0.635

b.1) **Relación a/(c+cpt)**  
 $F_w = 0.00\%$   $F_w$ : Contenido de Ceniza (% en peso del cemento)

$$\frac{a}{c + cpt} = 0.56 \qquad \frac{a}{c + cpt} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * F_w^2}$$

c) **Análisis de Diseño**  
 1.- Factor Cemento

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

$$\text{Fact. Cem.} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \qquad 8.61\text{Bls/m}^3$$



2.- Contenido de Agregado Grueso

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 0.635 * 1638 = 1040.13 \text{ kg/m}^3$$

3.- Volúmenes Absolutos del Cemento y Ceniza de Paja de Trigo

$$\text{Peso del Cemento: } C = 366.07 * 100\% = 366.07 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de Ceniza de Paja de Trigo: } CPT = 366.07 * 0.00\% = 0.00 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento} = \frac{366.07}{3.14 * 1000} = 0.117 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza de Paja de trigo} = \frac{0.00}{1.44 * 1000} = 0.000 \text{ m}^3$$

4.- Volumen Absoluto del Agua

$$\text{Agua} = \frac{205}{1 * 1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

5.- Volumen Absoluto de Aire Atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 * 1} = 0.020 \text{ m}^3$$

6.- Volumen Absoluto del Agregado Grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1040.13}{2.38 * 1000} = 0.437 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de Volúmenes Absolutos} = 0.779 \text{ m}^3$$

7.- Contenido de Agregado Fino

$$\text{Volumen Absoluto del Agregado Fino} = 1 - 0.779 = 0.221 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado Fino Seco} = 0.221 * 2.40 * 1000 = 531.33 \text{ kg/m}^3$$

d) **Cantidad de Materiales por m3 en Peso**

1.- Cemento	366.07 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	0.00 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua de Diseño	205.00 lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Seco	531.33 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Seco	1040.13 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la Mezcla</b>	<b>2142.53 kg/m<sup>3</sup></b>

e) **Corrección por Humedad del Agregado**

1.- Peso Humedo del Agregado Fino

$$\text{Agregado Fino} = 531.33 * 1.0290 = 546.74 \text{ kg/m}^3$$

2.- Peso Humedo del Agregado Grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1040.13 * 1.0192 = 1060.10 \text{ kg/m}^3$$

f) **Contribución de Agua de los Agregados**

1.- Humedad Superficial de los Agregados

$$\text{Agregado Fino} = 2.90 - 3.75 = -0.85\%$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1.92 - 2.23 = -0.31\%$$

$$-1.16\%$$

2.- Aporte de Humedad de los Agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino Seco} &= 531.33 * (-0.0085) = -4.52 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Seco} &= 1040.13 * (-0.0031) = -3.22 \text{ Lt/m}^3 \\ &= -7.74 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agua Efectiva} &= 205 - (-7.74) = 212.74 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

g) **Cantidad de Materiales Corregidos por m3 de Concreto**

1.- Cemento	366.07 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	0.00 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua Efectiva	212.74 lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Húmedo	546.74 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Húmedo	1060.10 kg/m <sup>3</sup>

h) **Proporciones en Peso por Unidad de Cemento**

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{366.07}{366.07} = 1.00 \\ \text{Ceniza de Paja de Trigo} &= \frac{0.00}{366.07} = 0.00 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{546.74}{366.07} = 1.49 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1060.10}{366.07} = 2.90 \\ \text{Agua} &= \frac{212.74}{366.07} = 0.58 \end{aligned}$$

i) **Cantidad de Materiales Corregidos por Bolsa**

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 1.00 * 42.5 = 42.5 \text{ Kg/Bl} \\ \text{Ceniza de Paja de Trigo} &= 0.00 * 42.5 = 0.0 \text{ Kg/Bl} \\ \text{Agua Efectiva} &= 0.58 * 42.5 = 24.7 \text{ Lt/Bl} \\ \text{Agregado Fino Húmedo} &= 1.49 * 42.5 = 63.5 \text{ Kg/Bl} \\ \text{Agregado Grueso Húmedo} &= 2.90 * 42.5 = 123.1 \text{ Kg/Bl} \end{aligned}$$

**RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	VOLUMENES ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCIÓN
CEMENTO	0.117	366.07		366.07	1.00
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	0.000	0.00		0.00	0.00
AGREGADO FINO	0.221	531.33	-0.85	546.74	1.49
AGREGADO GRUESO	0.437	1040.13	-0.31	1060.10	2.90
AGUA	0.205	205.00	-1.16	212.74	0.58
AIRE	0.020				
				<b>2185.65</b>	

<b>Relación a/c Efectiva</b>	0.58
------------------------------	------



**MÉTODO POR PESO EQUIVALENTE: 97.50% DE CEMENTO + 2.50% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO**  
**CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	CEMENTO Y CENIZA DE PAJA DE TRIGO		
	P.E.	PESO	% CONT.
CEMENTO	3.14	42.5 Kg/Bls	97.50%
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	1.44		2.50%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS		
	UNIDAD	FINO	GRUESO
TAMAÑO MÁXIMO	Pulg	N° 4	3/4"
PESO ESPECÍFICO	gr/cm3	2.40	2.38
PESO UNITARIO SUELTO	kg/m3	1563	1534
PESO UNITARIO COMPACTO	kg/m3	1717	1638
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.90	1.92
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	3.75	2.23
MÓDULO DE FINEZA		2.65	6.31

**a) Resistencia Requerida Promedio**

$f'_{cp} = 294 \text{ kg/cm}^2$

**b) Valores de Diseño**

- 1.- Asentamiento 3" - 4"
- 2.- Tamaño Máximo 3/4"
- 3.- Aire Incorporado No
- 4.- Relación a/c 0.56
- 5.- Agua 205 Ltrs
- 6.- Total de Aire 2.00%
- 7.- Volumen de A.G. 0.635

**b.1) Relación a/(c+cpt)**

$F_w = 2.50\%$   $F_w$ : Contenido de Ceniza (% en peso del cemento)

$$\frac{a}{c + cpt} = 0.56 \qquad \frac{a}{c + cpt} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * F_w^2}$$

**c) Análisis de Diseño**

1.- Factor Cemento

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

$$\text{Fact. Cem.} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \qquad 8.61\text{Bls/m}^3$$

2.- Contenido de Agregado Grueso

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 0.635 * 1638 = 1040.13 \text{ kg/m}^3$$

3.- Volúmenes Absolutos del Cemento y Ceniza de Paja de Trigo

$$\text{Peso del Cemento: } C = 366.07 * 97.50\% = 356.92 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de Ceniza de Paja de Trigo: } CPT = 366.07 * 2.50\% = 9.15 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento} = \frac{356.92}{3.14 * 1000} = 0.114 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza de Paja de trigo} = \frac{9.15}{1.44 * 1000} = 0.006 \text{ m}^3$$

4.- Volumen Absoluto del Agua

$$\text{Agua} = \frac{205}{1 * 1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

5.- Volumen Absoluto de Aire Atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 * 1} = 0.020 \text{ m}^3$$

6.- Volumen Absoluto del Agregado Grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1040.13}{2.38 * 1000} = 0.437 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de Volúmenes Absolutos} = 0.782 \text{ m}^3$$

7.- Contenido de Agregado Fino

$$\text{Volumen Absoluto del Agregado Fino} = 1 - 0.782 = 0.218 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado Fino Seco} = 0.218 * 2.40 * 1000 = 523.07 \text{ kg/m}^3$$

d) **Cantidad de Materiales por m<sup>3</sup> en Peso**

1.- Cemento	356.92 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	9.15 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua de Diseño	205.00 lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Seco	523.07 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Seco	1040.13 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la Mezcla</b>	<b>2134.27 kg/m<sup>3</sup></b>

e) **Corrección por Humedad del Agregado**

1.- Peso Humedo del Agregado Fino

$$\text{Agregado Fino} = 523.07 * 1.0290 = 538.24 \text{ kg/m}^3$$

2.- Peso Humedo del Agregado Grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1040.13 * 1.0192 = 1060.10 \text{ kg/m}^3$$

f) **Contribución de Agua de los Agregados**

1.- Humedad Superficial de los Agregados

$$\text{Agregado Fino} = 2.90 - 3.75 = -0.85\%$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1.92 - 2.23 = -0.31\%$$

$$-1.16\%$$

2.- Aporte de Humedad de los Agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino Seco} &= 523.07 * (-0.0085) &= -4.45 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Seco} &= 1040.13 * (-0.0031) &= -3.22 \text{ Lt/m}^3 \\ & &= -7.67 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agua Efectiva} &= 205 - (-7.67) &= 212.67 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

**g) Cantidad de Materiales Corregidos por m3 de Concreto**

1.- Cemento	356.92 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	9.15 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua Efectiva	212.67 Lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Húmedo	538.24 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Húmedo	1060.10 kg/m <sup>3</sup>

**h) Proporciones en Peso por Unidad de Cemento**

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= \frac{356.92}{356.92} = 1.00 \\ \text{Ceniza de Paja de Trigo} &= \frac{9.15}{356.92} = 0.03 \\ \text{Agregado Fino} &= \frac{538.24}{356.92} = 1.51 \\ \text{Agregado Grueso} &= \frac{1060.10}{356.92} = 2.97 \\ \text{Agua} &= \frac{212.67}{356.90} = 0.60 \end{aligned}$$

**i) Cantidad de Materiales Corregidos por Bolsa**

$$\begin{aligned} \text{Cemento} &= 1.00 * 42.5 = 42.5 \text{ Kg/Bl} \\ \text{Ceniza de Paja de Trigo} &= 0.03 * 42.5 = 1.1 \text{ Kg/Bl} \\ \text{Agua Efectiva} &= 0.60 * 42.5 = 25.3 \text{ Lt/Bl} \\ \text{Agregado Fino Húmedo} &= 1.51 * 42.5 = 64.1 \text{ Kg/Bl} \\ \text{Agregado Grueso Húmedo} &= 2.97 * 42.5 = 126.2 \text{ Kg/Bl} \end{aligned}$$

**RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	VOLUMENES ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCIÓN
CEMENTO	0.114	356.92		356.92	1.00
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	0.006	9.15		9.15	0.03
AGREGADO FINO	0.218	523.07	-0.85	538.24	1.51
AGREGADO GRUESO	0.437	1040.13	-0.31	1060.10	2.97
AGUA	0.205	205.00	-1.16	212.67	0.60
AIRE	0.020				
				<b>2177.08</b>	

<b>Relación a/c Efectiva</b>	<b>0.58</b>
------------------------------	-------------

**MÉTODO POR PESO EQUIVALENTE: 95.00% DE CEMENTO + 5.00% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**

DESCRIPCIÓN	CEMENTO Y CENIZA DE PAJA DE TRIGO		
	P.E.	PESO	% CONT.
CEMENTO	3.14	42.5 Kg/Bls	95.00%
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	1.44		5.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS		
	UNIDAD	FINO	GRUESO
TAMAÑO MÁXIMO	Pulg	N° 4	3/4"
PESO ESPECÍFICO	gr/cm3	2.40	2.38
PESO UNITARIO SUELTO	kg/m3	1563	1534
PESO UNITARIO COMPACTO	kg/m3	1717	1638
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.90	1.92
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	3.75	2.23
MÓDULO DE FINEZA		2.65	6.31

**a) Resistencia Requerida Promedio**

$f'_{cp} = 294 \text{ kg/cm}^2$

**b) Valores de Diseño**

- 1.- Asentamiento 3" - 4"
- 2.- Tamaño Máximo 3/4"
- 3.- Aire Incorporado No
- 4.- Relación a/c 0.56
- 5.- Agua 205 Ltrs
- 6.- Total de Aire 2.00%
- 7.- Volumen de A.G. 0.635

**b.1) Relación a/(c+cpt)**

$F_w = 5.00\%$   
 $F_w$ : Contenido de Ceniza (% en peso del cemento)

$$\frac{a}{c + cpt} = 0.56 \qquad \frac{a}{c + cpt} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * F_w^2}$$

**c) Análisis de Diseño**

1.- Factor Cemento

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

$$\text{Fact. Cem.} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \qquad 8.61 \text{ Bls/m}^3$$

2.- Contenido de Agregado Grueso

Peso del Agregado Grueso Seco =  $0.635 * 1638 = 1040.13 \text{ kg/m}^3$

3.- Volúmenes Absolutos del Cemento y Ceniza de Paja de Trigo

Peso del Cemento:  $C = 366.07 * 95.0\% = 347.77 \text{ kg/m}^3$   
 Peso de Ceniza de Paja de Trigo:  $CPT = 366.07 * 5.00\% = 18.30 \text{ kg/m}^3$

Cemento  $= \frac{347.77}{3.14 * 1000} = 0.111 \text{ m}^3$

Ceniza de Paja de trigo  $= \frac{18.30}{1.44 * 1000} = 0.013 \text{ m}^3$

4.- Volumen Absoluto del Agua

Agua  $= \frac{205}{1 * 1000} = 0.205 \text{ m}^3$

5.- Volumen Absoluto de Aire Atrapado

Aire  $= \frac{2.00\%}{1 * 1} = 0.020 \text{ m}^3$

6.- Volumen Absoluto del Agregado Grueso

Agregado Grueso  $= \frac{1040.13}{2.38 * 1000} = 0.437 \text{ m}^3$

Suma de Volúmenes Absolutos  $= 0.785 \text{ m}^3$

7.- Contenido de Agregado Fino

Volumen Absoluto del Agregado Fino  $= 1 - 0.785 = 0.215 \text{ m}^3$

Peso del Agregado Fino Seco  $= 0.215 * 2.40 * 1000 = 514.81 \text{ kg/m}^3$

**d) Cantidad de Materiales por m<sup>3</sup> en Peso**

1.- Cemento	347.77 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	18.30 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua de Diseño	205.00 lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Seco	514.81 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Seco	1040.13 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la Mezcla</b>	<b>2126.02 kg/m<sup>3</sup></b>

**e) Corrección por Humedad del Agregado**

1.- Peso Humedo del Agregado Fino

Agregado Fino  $= 514.81 * 1.0290 = 529.74 \text{ kg/m}^3$

2.- Peso Humedo del Agregado Grueso

Agregado Grueso  $= 1040.13 * 1.0192 = 1060.10 \text{ kg/m}^3$

**f) Contribución de Agua de los Agregados**

1.- Humedad Superficial de los Agregados

Agregado Fino  $= 2.90 - 3.75 = -0.85\%$

Agregado Grueso  $= 1.92 - 2.23 = -0.31\%$

-1.16%

2.- Aporte de Humedad de los Agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino Seco} &= 514.81 * (-0.0085) = -4.38 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Seco} &= 1040.13 * (-0.0031) = -3.22 \text{ Lt/m}^3 \\ &= -7.60 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 205 - (-7.60) = 212.60 \text{ Lt/m}^3$$

g) **Cantidad de Materiales Corregidos por m3 de Concreto**

1.- Cemento	347.77 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	18.30 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua Efectiva	212.60 lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Húmedo	529.74 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Húmedo	1060.10 kg/m <sup>3</sup>

h) **Proporciones en Peso por Unidad de Cemento**

Cemento	$= \frac{347.77}{347.77} = 1.00$
Ceniza de Paja de Trigo	$= \frac{18.30}{347.77} = 0.05$
Agregado Fino	$= \frac{529.74}{347.77} = 1.52$
Agregado Grueso	$= \frac{1060.10}{347.77} = 3.05$
Agua	$= \frac{212.60}{347.77} = 0.61$

i) **Cantidad de Materiales Corregidos por Bolsa**

Cemento	$= 1.00 * 42.5 = 42.5 \text{ Kg/Bl}$
Ceniza de Paja de Trigo	$= 0.05 * 42.5 = 2.2 \text{ Kg/Bl}$
Agua Efectiva	$= 0.61 * 42.5 = 26.0 \text{ Lt/Bl}$
Agregado Fino Húmedo	$= 1.52 * 42.5 = 64.7 \text{ Kg/Bl}$
Agregado Grueso Húmedo	$= 3.05 * 42.5 = 129.6 \text{ Kg/Bl}$

**RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	VOLUMENES ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCIÓN
CEMENTO	0.111	347.77		347.77	1.00
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	0.013	18.30		18.30	0.05
AGREGADO FINO	0.215	514.81	-0.85	529.74	1.52
AGREGADO GRUESO	0.437	1040.13	-0.31	1060.10	3.05
AGUA	0.205	205.00	-1.16	212.60	0.61
AIRE	0.020				
				<b>2168.52</b>	

<b>Relación a/c Efectiva</b>	0.58
------------------------------	------



MÉTODO POR PESO EQUIVALENTE: 92.50% DE CEMENTO + 7.50% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CEMENTO Y CENIZA DE PAJA DE TRIGO		
	P.E.	PESO	% CONT.
CEMENTO	3.14	42.5 Kg/Bls	92.50%
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	1.44		7.50%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS		
	UNIDAD	FINO	GRUESO
TAMAÑO MÁXIMO	Pulg	N° 4	3/4"
PESO ESPECÍFICO	gr/cm3	2.40	2.38
PESO UNITARIO SUELTO	kg/m3	1563	1534
PESO UNITARIO COMPACTO	kg/m3	1717	1638
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.90	1.92
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	3.75	2.23
MÓDULO DE FINEZA		2.65	6.31

a) Resistencia Requerida Promedio

$f'_{cp} = 294 \text{ kg/cm}^2$

b) Valores de Diseño

- 1.- Asentamiento 3" - 4"
- 2.- Tamaño Máximo 3/4"
- 3.- Aire Incorporado No
- 4.- Relación a/c 0.56
- 5.- Agua 205 Ltrs
- 6.- Total de Aire 2.00%
- 7.- Volumen de A.G. 0.635

b.1) Relación a/(c+cpt)

$F_w = 7.50\%$   $F_w$ : Contenido de Ceniza (% en peso del cemento)

$$\frac{a}{c + cpt} = 0.56 \qquad \frac{a}{c + cpt} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * F_w^2}$$

c) Análisis de Diseño

1.- Factor Cemento

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

$$\text{Fact. Cem.} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \qquad 8.61\text{Bls/m}^3$$

2.- Contenido de Agregado Grueso

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 0.635 * 1638 = 1040.13 \text{ kg/m}^3$$

3.- Volúmenes Absolutos del Cemento y Ceniza de Paja de Trigo

Peso del Cemento:  $C = 366.07 * 92.50\% = 338.62 \text{ kg/m}^3$

Peso de Ceniza de Paja de Trigo:  $CPT = 366.07 * 7.50\% = 27.46 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Cemento} = \frac{338.62}{3.14 * 1000} = 0.108 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza de Paja de trigo} = \frac{27.46}{1.44 * 1000} = 0.019 \text{ m}^3$$

4.- Volumen Absoluto del Agua

$$\text{Agua} = \frac{205}{1 * 1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

5.- Volumen Absoluto de Aire Atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 * 1} = 0.020 \text{ m}^3$$

6.- Volumen Absoluto del Agregado Grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1040.13}{2.38 * 1000} = 0.437 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de Volúmenes Absolutos} = 0.789 \text{ m}^3$$

7.- Contenido de Agregado Fino

$$\text{Volumen Absoluto del Agregado Fino} = 1 - 0.789 = 0.211 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado Fino Seco} = 0.211 * 2.40 * 1000 = 506.56 \text{ kg/m}^3$$

d) **Cantidad de Materiales por m<sup>3</sup> en Peso**

1.- Cemento	338.62 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	27.46 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua de Diseño	205.00 lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Seco	506.56 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Seco	1040.13 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso de la Mezcla</b>	<b>2117.76 kg/m<sup>3</sup></b>

e) **Corrección por Humedad del Agregado**

1.- Peso Humedo del Agregado Fino

$$\text{Agregado Fino} = 506.56 * 1.0290 = 521.25 \text{ kg/m}^3$$

2.- Peso Humedo del Agregado Grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1040.13 * 1.0192 = 1060.10 \text{ kg/m}^3$$

f) **Contribución de Agua de los Agregados**

1.- Humedad Superficial de los Agregados

$$\text{Agregado Fino} = 2.90 - 3.75 = -0.85\%$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1.92 - 2.23 = -0.31\% \\ -1.16\%$$

2.- Aporte de Humedad de los Agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino Seco} &= 506.56 * (-0.0085) = -4.31 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Seco} &= 1040.13 * (-0.0031) = -3.22 \text{ Lt/m}^3 \\ &= -7.53 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 205 - (-7.53) = 212.53 \text{ Lt/m}^3$$

**g) Cantidad de Materiales Corregidos por m3 de Concreto**

1.- Cemento	338.62 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	27.46 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua Efectiva	212.53 Lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Húmedo	521.25 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Húmedo	1060.10 kg/m <sup>3</sup>

**h) Proporciones en Peso por Unidad de Cemento**

Cemento	$= \frac{338.62}{338.62} = 1.00$
Ceniza de Paja de Trigo	$= \frac{27.46}{338.62} = 0.08$
Agregado Fino	$= \frac{521.25}{338.62} = 1.54$
Agregado Grueso	$= \frac{1060.10}{338.62} = 3.13$
Agua	$= \frac{212.53}{338.62} = 0.63$

**i) Cantidad de Materiales Corregidos por Bolsa**

Cemento	$= 1.00 * 42.5 = 42.5 \text{ Kg/Bl}$
Ceniza de Paja de Trigo	$= 0.08 * 42.5 = 3.4 \text{ Kg/Bl}$
Agua Efectiva	$= 0.63 * 42.5 = 26.7 \text{ Lt/Bl}$
Agregado Fino Húmedo	$= 1.54 * 42.5 = 65.4 \text{ Kg/Bl}$
Agregado Grueso Húmedo	$= 3.13 * 42.5 = 133.1 \text{ Kg/Bl}$

**RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	VOLUMENES ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCIÓN
CEMENTO	0.108	338.62		338.62	1.00
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	0.019	27.46		27.46	0.08
AGREGADO FINO	0.211	506.56	-0.85	521.25	1.54
AGREGADO GRUESO	0.437	1040.13	-0.31	1060.10	3.13
AGUA	0.205	205.00	-1.16	212.53	0.63
AIRE	0.020				
				<b>2159.95</b>	

<b>Relación a/c Efectiva</b>	0.58
------------------------------	------

MÉTODO POR PESO EQUIVALENTE: 90.00% DE CEMENTO + 10.00% DE CENIZA DE PAJA DE TRIGO

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

DESCRIPCIÓN	CEMENTO Y CENIZA DE PAJA DE TRIGO		
	P.E.	PESO	% CONT.
CEMENTO	3.14	42.5 Kg/Bls	90.00%
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	1.44		10.00%
DESCRIPCIÓN	AGREGADOS		
	UNIDAD	FINO	GRUESO
TAMAÑO MÁXIMO	Pulg	N° 4	3/4"
PESO ESPECÍFICO	gr/cm3	2.40	2.38
PESO UNITARIO SUELTO	kg/m3	1563	1534
PESO UNITARIO COMPACTO	kg/m3	1717	1638
CONTENIDO DE HUMEDAD	%	2.90	1.92
PORCENTAJE DE ABSORCIÓN	%	3.75	2.23
MÓDULO DE FINEZA		2.65	6.31

a) Resistencia Requerida Promedio

$f'_{cp} = 294 \text{ kg/cm}^2$

b) Valores de Diseño

- 1.- Asentamiento 3" - 4"
- 2.- Tamaño Máximo 3/4"
- 3.- Aire Incorporado No
- 4.- Relación a/c 0.56
- 5.- Agua 205 Ltrs
- 6.- Total de Aire 2.00%
- 7.- Volumen de A.G. 0.635

b.1) Relación a/(c+cpt)

$F_w = 10.00\%$   $F_w$ : Contenido de Ceniza (% en peso del cemento)

$$\frac{a}{c + cpt} = 0.56 \qquad \frac{a}{c + cpt} = \frac{PE_c * \frac{a}{c}}{\frac{1}{a/c} + 0.1846 * F_w^2}$$

c) Análisis de Diseño

1.- Factor Cemento

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

$$\text{Fact. Cem.} = 366.07 \text{ kg/m}^3 \qquad 8.61\text{Bl}/\text{m}^3$$

2.- Contenido de Agregado Grueso

$$\text{Peso del Agregado Grueso Seco} = 0.635 * 1638 = 1040.13 \text{ kg/m}^3$$

3.- Volúmenes Absolutos del Cemento y Ceniza de Paja de Trigo

$$\text{Peso del Cemento:} \quad C = 366.07 * 90.0\% = 329.46 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso de Ceniza de Paja de Trigo:} \quad \text{CPT} = 366.07 * 10.0\% = 36.61 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Cemento} = \frac{329.46}{3.14 * 1000} = 0.105 \text{ m}^3$$

$$\text{Ceniza de Paja de trigo} = \frac{36.61}{1.44 * 1000} = 0.025 \text{ m}^3$$

4.- Volumen Absoluto del Agua

$$\text{Agua} = \frac{205}{1 * 1000} = 0.205 \text{ m}^3$$

5.- Volumen Absoluto de Aire Atrapado

$$\text{Aire} = \frac{2.00\%}{1 * 1} = 0.020 \text{ m}^3$$

6.- Volumen Absoluto del Agregado Grueso

$$\text{Agregado Grueso} = \frac{1040.13}{2.38 * 1000} = 0.437 \text{ m}^3$$

$$\text{Suma de Volúmenes Absolutos} = 0.792 \text{ m}^3$$

7.- Contenido de Agregado Fino

$$\text{Volumen Absoluto del Agregado Fino} = 1 - 0.792 = 0.208 \text{ m}^3$$

$$\text{Peso del Agregado Fino Seco} = 0.208 * 2.40 * 1000 = 498.30 \text{ kg/m}^3$$

d) **Cantidad de Materiales por m3 en Peso**

1.- Cemento	329.46 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	36.61 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua de Diseño	205.00 lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Seco	498.30 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Seco	1040.13 kg/m <sup>3</sup>

**Peso de la Mezcla 2109.50 kg/m<sup>3</sup>**

e) **Corrección por Humedad del Agregado**

1.- Peso Humedo del Agregado Fino

$$\text{Agregado Fino} = 498.30 * 1.0290 = 512.75 \text{ kg/m}^3$$

2.- Peso Humedo del Agregado Grueso

$$\text{Agregado Grueso} = 1040.13 * 1.0192 = 1060.10 \text{ kg/m}^3$$

f) **Contribución de Agua de los Agregados**

1.- Humedad Superficial de los Agregados

$$\text{Agregado Fino} = 2.90 - 3.75 = -0.85\%$$

$$\text{Agregado Grueso} = 1.92 - 2.23 = -0.31\% \\ -1.16\%$$

2.- Aporte de Humedad de los Agregados

$$\begin{aligned} \text{Agregado Fino Seco} &= 498.30 * (-0.0085) = -4.24 \text{ Lt/m}^3 \\ \text{Agregado Grueso Seco} &= 1040.13 * (-0.0031) = -3.22 \text{ Lt/m}^3 \\ &= -7.46 \text{ Lt/m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Agua Efectiva} = 205 - (-7.46) = 212.46 \text{ Lt/m}^3$$

g) **Cantidad de Materiales Corregidos por m3 de Concreto**

1.- Cemento	329.46 kg/m <sup>3</sup>
2.- Ceniza de Paja de Trigo	36.61 kg/m <sup>3</sup>
3.- Agua Efectiva	212.46 lt/m <sup>3</sup>
4.- Agregado Fino Húmedo	512.75 kg/m <sup>3</sup>
5.- Agregado Grueso Húmedo	1060.10 kg/m <sup>3</sup>

h) **Proporciones en Peso por Unidad de Cemento**

Cemento	$= \frac{329.46}{329.46} = 1.00$
Ceniza de Paja de Trigo	$= \frac{36.61}{329.46} = 0.11$
Agregado Fino	$= \frac{512.75}{329.46} = 1.56$
Agregado Grueso	$= \frac{1060.10}{329.46} = 3.22$
Agua	$= \frac{212.46}{329.46} = 0.64$

i) **Cantidad de Materiales Corregidos por Bolsa**

Cemento	$= 1.00 * 42.5 = 42.5 \text{ Kg/Bl}$
Ceniza de Paja de Trigo	$= 0.11 * 42.5 = 4.7 \text{ Kg/Bl}$
Agua Efectiva	$= 0.64 * 42.5 = 27.4 \text{ Lt/Bl}$
Agregado Fino Húmedo	$= 1.56 * 42.5 = 66.1 \text{ Kg/Bl}$
Agregado Grueso Húmedo	$= 3.22 * 42.5 = 136.8 \text{ Kg/Bl}$

**RESUMEN**

DESCRIPCIÓN	VOLUMENES ABSOLUTOS	PESOS SECOS/M3	HUMEDAD	PESOS KG/M3	PROPORCIÓN
CEMENTO	0.105	329.46		329.46	1.00
CENIZA DE PAJA DE TRIGO	0.025	36.61		36.61	0.11
AGREGADO FINO	0.208	498.30	-0.85	512.75	1.56
AGREGADO GRUESO	0.437	1040.13	-0.31	1060.10	3.22
AGUA	0.205	205.00	-1.16	212.46	0.64
AIRE	0.020				

**2151.38**

<b>Relación a/c Efectiva</b>	0.58
------------------------------	------



