

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**Resistencia a la compresión del concreto, sustituyendo al  
cemento en 8% y 12% por combinación de cal y ceniza de la  
planta de maíz**

**Tesis para optar el título profesional de ingeniera civil**

**Autor**

Velásquez Salazar, Dhayami Mercedita

**Asesor**

Urrutia Vargas, Segundo Milquisider

**HUARAZ – PERÚ**

**2019**

## INDICE

<b>Palabras clave .....</b>	<b>i</b>
<b>Título .....</b>	<b>ii</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>v</b>
<b>Antecedentes y fundamentación científica .....</b>	<b>1</b>
<b>Fundamentación científica.....</b>	<b>8</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>21</b>
<b>Hipótesis.....</b>	<b>24</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>24</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>25</b>
<b>Resultados .....</b>	<b>27</b>
<b>Análisis y discusión.....</b>	<b>37</b>
<b>Conclusión .....</b>	<b>40</b>
<b>Recomendación .....</b>	<b>42</b>
<b>Referencia bibliografica .....</b>	<b>43</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>45</b>
<b>Apéndice y anexo .....</b>	<b>61</b>

## INDICE DE TABLA

<b>Composición química del cemento portland .....</b>	<b>6</b>
<b>propiedades químicas y físicas .....</b>	<b>12</b>
<b>Composición mineralógica del concreto .....</b>	<b>14</b>
<b>Comportamiento de la ceniza .....</b>	<b>18</b>
<b>Cantidad de materiales para la elaboración del testigo.....</b>	<b>30</b>
<b>Composición química de cal + ceniza de la planta de maiz.....</b>	<b>31</b>
<b>Resistencia de compresión adquirida de la combinación 01.....</b>	<b>32</b>
<b>Resistencia de compresión adquirida de la combinación 02.....</b>	<b>33</b>
<b>Resistencia de compresión adquirida de la combinación 03.....</b>	<b>34</b>
<b>Resistencia del concreto con cal + ceniza.....</b>	<b>35</b>
<b>Prueba anova .....</b>	<b>37</b>
<b>Prueba de duncan .....</b>	<b>39</b>

## INDICE DE GRAFICOS

COMPOSICION BASICA DEL CONCRETO .....	1
PROCESO DE FABRICACION DEL CEMENTO .....	7
RAYOS X DE LA CENIZA .....	15
DISEÑO DE BLOQUE .....	26
CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO GRUESO .....	28
CURVA GRANULOMETRICA DEL AGREGADO FINO .....	29

**PALABRAS CLAVE:**

---

<b>Tema</b>	Cemento, Resistencia, Compresión, ceniza, maíz, cal.
<b>Especialidad</b>	Tecnología del concreto

---

**KEY WORDS:**

---

<b>Theme</b>	Cement, Resistance, Compression, ash, corn, lime.
<b>Specialty</b>	Concrete technology

---

**LINEA DE INVESTIGACION**

---

Línea de Investigación	Construcción y Gestión de la construcción
Área	Ingeniería y tecnología
Sub – Área	Ingeniería Civil
Disciplina	Ingeniería de la construcción
Sub - líneas o Campos de Investigación	Materiales de la construcción

---

**TITULO:**

**Resistencia a la compresión del concreto, sustituyendo al cemento en 8% y 12% por combinación de cal y ceniza de la planta de maíz**

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo sustituir el cemento por la combinación de cal y ceniza de planta de maíz en la preparación de un concreto estructural y así se determinó la combinación que ofrece el mejor comportamiento mecánico en el concreto. Se revisó el comportamiento mecánico del concreto ante la acción de cargas axiales con cemento sustituido por la combinación de cal y ceniza de planta de maíz (8 - 12%), estableciendo estos porcentajes de referencia en función a investigaciones anteriores realizadas respecto al tema en tratamiento, se proyectó realizar pruebas aleatorias para posteriormente determinar la combinación de cal y ceniza de la planta de maíz. La técnica que se utilizó para la determinación de la combinación adecuada es la observación y como instrumento tendremos las fichas técnicas de laboratorio de Mecánica de suelos y ensayos de materiales.

Al sustituir el cemento por la combinación de cal y ceniza de la planta de maíz en la preparación del concreto, se realizaron combinaciones aleatorias de cemento, cal, y ceniza de maíz. La combinación 1 contenía el 100% de cemento, la combinación 2 un 92% de cemento y un 6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maíz, la combinación 3 un 88% de cemento y un 9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maíz, lo cual se empleó en la preparación del concreto, a la resistencia proporcionada por el concreto patrón que es de 210 Kg/cm<sup>2</sup>.

## **ABSTRACT**

The objective of this research is to substitute the cement by the combination of lime and corn plant ash in the preparation of a structural concrete and thus determine the combination that offers the best mechanical behavior in the concrete. The mechanical behavior of the concrete before the action of axial loads with cement replaced by the combination of lime and corn plant ash (8 - 12%), establishing these reference percentages based on previous research carried out with respect to the subject under treatment, it is projected to carry out random tests to later determine the combination of lime and corn cob more favorable. The technique to be used for the determination of the appropriate combination will be the observation and as an instrument we will have the technical data sheets of soil mechanics and materials testing.

To replace the cement by the combination of lime and ash from the corn plant in the concrete preparation, random combinations of cement, lime, and corn ash were performed. Combination 1 contained 100% cement, combination 2 92% cement and 6% lime and 2% ash from the corn plant, combination 3 88% cement and 9% lime and 3% ash from the corn plant, to be used in the preparation of the concrete, to the resistance provided by the concrete standard that was 210 Kg / cm<sup>2</sup>.

## I. METODOLOGIA

### ANTECEDENTES Y FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

#### 1.1. Antecedentes

**Fernández (2009).** En su tesis titulada: “Evaluación de concretos puzolanicos elaborados con contenido ceniza de hoja de maíz para uso estructural” tuvo como conclusiones lo siguiente:

Se pudo verificar por medios de ensayos de laboratorio realizados en esta investigación que la ceniza de hoja de maíz puede ser utilizada como sustituto parcial del cemento Portland en mezclas de concreto con fines estructurales. Sin embargo, es apropiado realizar una mayor cantidad de ensayos para dar certificación a su aplicación.

El porcentaje óptimo de sustitución de cemento por ceniza de hoja de maíz fue de 10 %, debido a que con el mismo se obtuvo un incremento en la resistencia compresión de 1,10 % en función de la mezcla patrón.

**Pozo & Pozo (2014).** En la investigación titulada “Resistencia a la compresión del concreto usando cal como aditivo en Huaraz – 2014”, desarrollado en la Universidad San Pedro – Huaraz de enfoque experimental, adicionaron cal viva en un 5 y 10% con referencia en peso de la cantidad del cemento determinado mediante un diseño de mezcla por el método del ACI. Obtuvieron resistencias de  $f'c=175.71 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $f'c=193.51 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $f'c=208.01 \text{ Kg/cm}^2$  y  $f'c=223.27 \text{ Kg/cm}^2$  a edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente para testigos de concreto elaborados con 5 % y de  $f'c=194.06 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $f'c=218.31 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $f'c=232.13 \text{ Kg/cm}^2$  y  $f'c=251.54 \text{ Kg/cm}^2$  a edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente para testigos de concreto elaborados con 10 % de adición de cal viva, el concreto patrón fue diseñado con una resistencia de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , del cual se obtuvieron resistencias de  $f'c=157.35 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $f'c=173.15 \text{ Kg/cm}^2$ ,  $f'c=197.00 \text{ Kg/cm}^2$  y  $f'c=217.05 \text{ Kg/cm}^2$  a edades de 7, 14, 21 y 28 días respectivamente. Concluyeron que la mayor resistencia a la compresión del concreto se alcanza adicionando cal viva en un 10%, por lo que recomendaron su utilización en

este porcentaje. En esta investigación claramente se evidencio que la mayor resistencia a la compresión axial se alcanza adicionando un 10% de cal viva, pero no se evaluó el comportamiento del concreto adicionando porcentajes superiores, motivo por el que existe la posibilidad de que se puedan obtener mayores resistencias si se incrementa la concentración de cal viva.

**Águila y Sosa (2008)**. En su tesis titulada “Evaluación físico químico de cenizas de cascarilla de arroz, bagazo de caña y hoja de maíz y su influencia en mezclas de mortero, como materiales puzolánicos” se concluyó que:

El porcentaje de sílice en la ceniza es uno de los elementos principales para una puzolana de buena calidad se apreció que en este sentido la cascarilla de arroz es el material de mayor potencialidad. En este caso se logró una ceniza con poco más de 80 % de sílice en su composición, en tanto que la ceniza de hoja de maíz presentó cerca de un 48 % de sílice, que si bien no muy alto, es un valor aceptable. La ceniza de bagazo de caña resultó menos efectiva en este sentido con un poco más del 36 % de sílice en su composición.

## **1.2. Fundamentación Científica**

En la presente, por enfocarse la investigación a la factibilidad de la sustitución del cemento en la elaboración del concreto por la combinación de cal y ceniza de la planta de maíz, no se realizara una descripción minuciosa de todos los componentes del concreto más que los básicos, debido a que este aspecto es ampliamente conocido por toda persona con presencia en el rubro de la ingeniería, lo que si se detallara lo más minuciosamente posible es lo referido a la cal y ceniza de la planta de maíz.

### **Concreto**

El reglamento para concreto estructural ACI 318S-05 define al concreto de la manera siguiente “Mezcla de cemento portland o cualquier otro cemento hidráulico, agregado fino, agregado grueso y agua, con o sin aditivos”, es así que los materiales que conforman el concreto son los siguientes:



Figura 01: Composición básica del concreto

Fuente: Elaboración propia

El concreto, considerado como una piedra artificial, es de los más usados para la construcción de todo tipo de infraestructuras, siendo el componente principal de los elementos estructurales y no estructurales de acuerdo a los requerimientos del proyecto. A continuación, se detallan las propiedades más importantes del concreto.

- **Propiedades del concreto**

Las principales propiedades del concreto en estado fresco son la Trabajabilidad, segregación y exudación y en el estado endurecido la resistencia, impermeabilidad y durabilidad. A continuación, se detalla cada uno:

- a) **Trabajabilidad:** Esta referida al grado de mayor o menor facilidad para la elaboración, transporte, colocación y compactado del concreto en estado fresco, el método para la evaluación de esta propiedad es mediante la utilización del cono de Abrams para la determinación del máximo asentamiento vertical (Slump)
- b) **Segregación:** Se produce debido a la diferencia de densidades de los componentes del concreto en estado fresco, el agregado grueso en la mayoría de los casos resulta ser altamente denso en comparación a los demás componentes y si la viscosidad de la pasta no es la suficiente para mantener en suspensión al agregado

se produce la segregación, que consta básicamente de la pérdida de uniformidad de la mezcla que al encontrarse en estado endurecido es un material no isotrópico, afectado con ello las propiedades mecánicas.

- c) **Exudación:** Es la propiedad mediante la cual se elimina una parte del agua de mezclado posterior a la colocación y compactación de la mezcla, la eliminación del agua es admisible hasta ciertos límites, superados ellos puede ocasionar alteraciones en las propiedades mecánicas requeridas del concreto. La eliminación del agua se da cuando la masa de la mezcla se separa del agua y este tiende a subir a la superficie.
- d) **Resistencia:** Esta propiedad está referida a la capacidad de admitir esfuerzos de compresión axial, diametral, esfuerzos de flexión, corte y torsión. Mayormente el principal indicador de la resistencia es el referido a la compresión axial, los demás son vinculados directamente con este.
- e) **Impermeabilidad:** referida a la capacidad de no permitir el paso del agua a través de su estructura, la permeabilidad del concreto está directamente relacionado con el grado de compactación que se puede alcanzar, mientras más compactado se encuentre el concreto en estado fresco mayor será la densidad del concreto y por ende será menos impermeable.
- f) **Durabilidad:** Propiedad que se le atribuye en función a la capacidad de permanencia del concreto sin alterar sus propiedades mecánicas iniciales ante la acción la intemperie (Variación de temperatura, acción de sulfatos, acción de hongos y otros)

## ▪ COMPONENTES DEL CONCRETO

- a) **Cemento:** El cemento es un conglomerante formado por la mezcla de silicatos y aluminatos de calcio, esto compuestos son formados por la asociación del óxido de calcio ( $\text{CaO}$ ), la silica ( $\text{SiO}_2$ ), la alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y el óxido de fierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), en la Tabla 1 se muestra el total de los compuestos que conforman el cemento. Los

compuestos principales que resultan de la fusión química en el proceso de cocción son el silicato tricálcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) que es básicamente la responsable del rápido fraguado y la adquisición de resistencia a tempranas edades, el silicato dicálcico ( $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ ) que presenta una velocidad de fraguado inferior al silicato tricalcico pero que también es la responsable de proporcionar resistencia al concreto, el aluminato tricalcico ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ ) encargada de la rápida hidratación del concreto y el aluminoferrito tetracálcico ( $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) que es un complemento de los silicatos y el aluminato.

Tabla

1

Composición química del cemento portland

<b>Compuesto</b>	<b>Rango (% Óxidos en peso)</b>
CaO	60 – 67
SiO <sub>2</sub>	17 – 25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3 - 8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5 – 6
Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	0.2 – 1.3
MgO	0.1 – 4
Cal libre	0 – 2
SO <sub>3</sub>	1 – 3

Fuente:

<http://www.elconstructorcivil.com/2011/01/composicion-quimica-del-cemento.html>

La fabricación del cemento sigue un procedimiento desde la extracción de las materias primas hasta el empaquetado, en la Fig. 02 se observa la secuencia de maneja resumida.

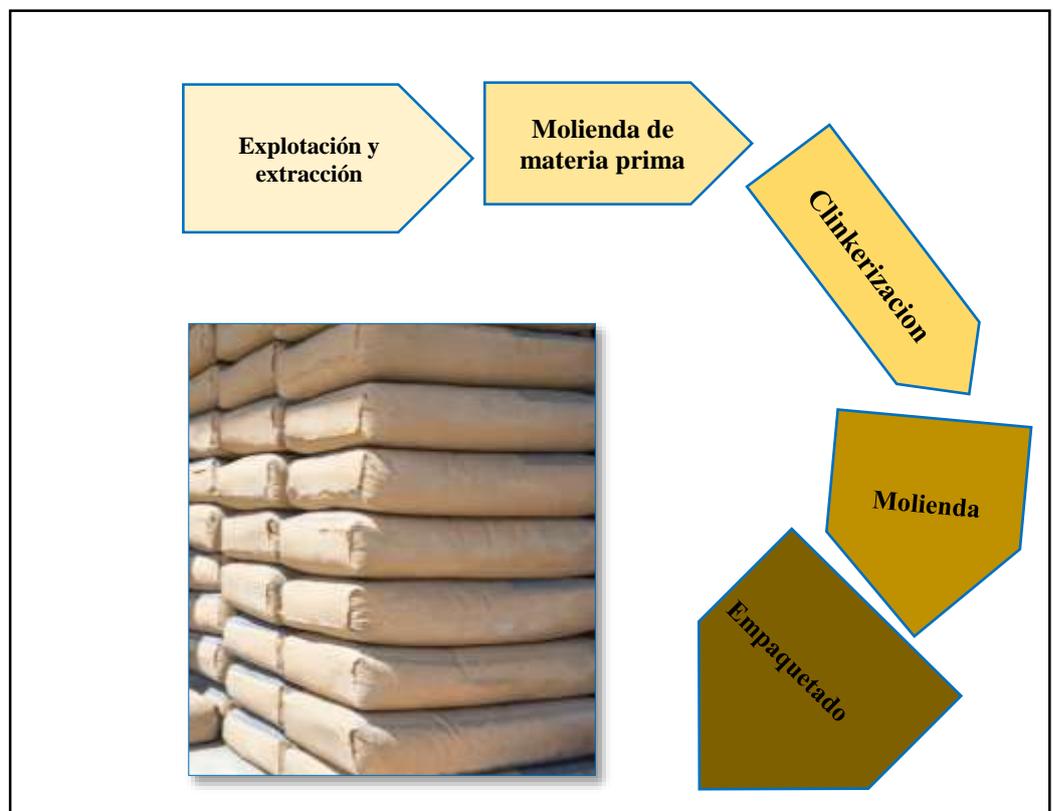


Figura 02: Proceso de fabricación del cemento

Fuente: Elaboración propia

- b) Agregados:** Es un material granular tal como la arena, grava, roca triturada que se usa con un medio cementante hidráulico para producir ya sea concreto o mortero.

Los agregados son elementos indispensables en la constitución del hormigón, ya que representan alrededor del 70% del volumen total del mismo; debido a las características que presentan ayudan en el mejoramiento e incremento de la resistencia, así también permiten que la mezcla sea compacta.

Por lo general se utilizan agregados gruesos redondeados o triturados. Los agregados de forma redondeada producen mayores resistencias; los de mayor tamaño, superficies más ásperas, mientras que los de tamaño pequeño y textura suave son más fáciles de colocar, aunque requieren una mayor cantidad de cemento. (Calderón y Charca, 2012).

Son materiales inertes obtenidos a partir de la trituración de rocas de manera natural o artificial, su presencia en el concreto varía entre 60% a 75% en volumen y de 70% a 85% en peso, para la elaboración de un concreto estructural ha de considerarse dos tipos de agregados; agregados gruesos y finos, los mismos que se detallan a continuación.

- **Agregado grueso:** definido como tal al agregado de tamaño superior al tamiz N°4, este puede ser obtenido de manera artificial o natural y es el primero el usado principalmente para la elaboración de un concreto estructural.

Los criterios fundamentales para la selección del agregado grueso son que el tamaño máximo nominal no deberá de ser superior a  $1/5$  de la menor separación entre los lados del encofrado, ni a  $1/3$  de la altura de la losa y ni a  $3/4$  del espaciamiento mínimo entre barras o alambres de acero (Según lo establece el ACI 318 en su numeral 3.3.2), ha de tenerse en cuenta que mientras mayor sea el tamaño del agregado grueso ha de requerirse mayor cemento para lograr que el concreto sea trabajable. Las propiedades físicas que se requieren conocer para realizar el diseño de mezcla son los siguientes:

- a. Granulometría
- b. Peso unitario
- c. Peso específico
- d. Contenido de humedad
- e. Absorción

- **Agregado fino:** El agregado fino tiene la función principal de llenar los espacios vacíos que se tiene entre los agregados gruesos, además actúa como lubricante sobre los que ruedan los agregados gruesos dándole manejabilidad al concreto. La calidad del agregado fino, al igual que del grueso esta en función a la gradación, pues mientras mejor gradación tenga mejor será su participación en el concreto, Las propiedades físicas que se requieren conocer para realizar el diseño de mezcla son los siguientes:

- a. Peso Unitario
- b. Peso Especifico
- c. Contenido de humedad
- d. Módulo de finura

c) **Agua:** El agua en el concreto cumple dos funciones, una la de realizar la hidratación del cemento para así unir los agregados y conformar el concreto en sí y otro de darle fluidez a la mezcla de concreto en estado fresco, entendiéndose que mientras más fluida sea la mezcla mayor trabajabilidad tendrá este. Es necesario recalcar que para que la mezcla sea fluida se necesitara incorporar la mayor cantidad de agua y ello implica aumentar la relación agua cemento, por ende, también implicar disminuir la resistencia el concreto, es por ello que es recomendable que se busque la fluidez del concreto no adicionando agua, sino más bien incorporando algún aditivo plastificante.

**d) Aire:** Dependiendo de los requerimientos de durabilidad, si el concreto está expuesto a condiciones climáticas no estables como el de la zona sierra, se puede realizar la incorporación de aire intencionalmente con quipos especializados, para de este modo controlar los esfuerzos internos que pudiera generarse por el hielo y deshielo, en la mayoría de los casos no es necesario realizar la incorporación mediante medios mecánicos y no se busca incorporar ningún porcentaje, pero pese a ello, por el hecho de realizarse la preparación y colocación del concreto en contacto con la atmosfera el concreto encierra cierto porcentaje de aire en su volumen, el cual se considera de 3% a 4% para el diseño de mezcla.

## **MAIZ**

Planta cereal de tallo macizo, recto y largo, hojas grandes, alargadas y alternas, agrupadas en racimo y femeninas agrupadas en mazorcas que reúnen hasta un millar de semillas dispuestas sobre un núcleo duro.

### **Partes Del Maíz**

- **Raíz:** La planta tiene dos tipos de raíz, las primarias son fibrosas, presentando además raíces adventicias, que nacen en los primeros nudos por encima de la superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta, sin embargo, por su gran masa de raíces superficiales, es susceptible a la sequía, intolerancia a suelos deficientes en nutrientes, y a caídas de grandes vientos.
- **Tallo:** El tallo está compuesto a su vez por tres capas: una epidermis exterior, impermeable y transparente, una pared por donde circulan las sustancias alimenticias y una médula de tejido esponjoso y blanco donde almacena reservas alimenticias, en especial azúcares.

- **Hojas:** Las hojas toman una forma alargada íntimamente arrollada al tallo, del cual nacen las espigas o mazorcas. Cada mazorca consiste en un tronco u olote que está cubierta por filas de granos, la parte comestible de la planta, cuyo número puede variar entre ocho y treinta.
- **Inflorescencia:** Es una planta monoica de flores unisexuales; sus inflorescencias masculinas y femeninas se encuentran bien diferenciadas en la misma planta.
- **Granos:** En la mazorca, cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósido que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca.

### **Morfología De La Planta De Maíz**

La estructura de la planta está constituida por una raíz fibrosa y un tallo recto de diversos tamaños de acuerdo al cultivo, con hojas puntiagudas dispuestas y encajadas en el tallo, formando un ramo que contiene la flor masculina, ya que la femenina se encuentra a un nivel inferior y es la que da origen a la mazorca. La planta puede alcanzar una altura de 2,50- 3 mts, según el cultivo y las condiciones de explotación.

### **Propiedades Físicas Y Análisis Químico De La Ceniza**

Descripción	Cenizas
	Hoja de Maíz
<b>Propiedades físicas</b>	
Gravedad Específica	1,91
Superficie Específica (cm <sup>2</sup> /g)	6.328
Finura (% pasa 325)	87,29
<b>Análisis Químico (%)</b>	
SiO <sub>2</sub>	47,62
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,58
CaO	5,16
MgO	4,12
SO <sub>3</sub>	0,90
K <sub>2</sub> O	9,51
Na <sub>2</sub> O	0,33
Humedad	4,53
Pérdida al fuego	17,67
TiO <sub>2</sub>	Trazas
ZnO	0.06
MnO	0.28
SiO <sub>2</sub> / Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	N/A

Tab.02 **Fuente: Idalberto Águila, Milena Sosa.**

### COMPOSICION QUIMICA DE LA CENIZA

El análisis de cenizas en los alimentos, es un parámetro de importancia desde el punto de vista económico y de la calidad y cualidades organolépticas y nutricionales. Debido a ello su medición está incluida dentro del Análisis Químico Proximal de los alimentos (en el cual se mide principalmente el contenido de humedad, grasa, proteína y cenizas).

En el análisis de alimentos también se conoce con el nombre de cenizas al conjunto de minerales que no arden ni se evaporan. Después de calcinarlo, es más fácil hacer un análisis detallado de cada mineral. Así por ejemplo, tras analizar miel obtenemos las siguientes cantidades:

Fructosa: 38%

Glucosa: 31%

Sacarosa: 1%

Agua: 17%

Otros carbohidratos: 9

Cenizas: 0.17%

$CO + H_2O + 2E = \text{Cenizas}$

En este ejemplo, por cenizas se entendería el conjunto de minerales que se encuentran en la miel.

La ceniza de plantas (madera, rastrojos, etc.) tiene un alto contenido de potasio, calcio, magnesio y otros minerales esenciales para ellas. Puede utilizarse como fertilizante si no contiene metales pesados u otros contaminantes. Como suele ser muy alcalina, se puede mezclar con agua y dejarla un tiempo al aire para que se neutralice en parte combinándose con el  $CO_2$  ambiental. También se puede mezclar con otro abono más ácido, como el humus. La descomposición en el humus, además hace a los minerales más biodisponibles.

Las cenizas de animales contienen más sodio y principalmente el fosfato cálcico de los huesos. Las cenizas de incineraciones humanas pueden contener restos de metales de empastes y otros implantes.

Composición química y mineralógica de los materiales de ensayo.

Clinker#	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO
	64,52	22,26	3,47	3,39	0,97	0,22	0,67
	C <sub>3</sub> S*	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF			
	63,55	15,85	3,12	10,56			
Cs	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO
	5,70	50,0	5,98	25,10	0,48	0,49	1,49
	BaO	MnO	TiO <sub>2</sub>	SrO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	PPC
	0,08	0,07	1,44	0,12	0,04	0,5	8,95

#Kst: 94,23; MA: 0,98; MS: 3,24<sup>†</sup>

Tab.03 composición mineralógico

### **Evaluación Del Efecto Puzolana De La Ceniza**

La puzolanidad de las cenizas fue evaluada a través de un ensayo acelerado de consumo de cal. Este ensayo fue realizado mezclando 2g de cenizas calcinadas con 20ml de solución saturada de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  a  $40^\circ\text{C}$ . El líquido sobrenadante se tituló con solución de HCl a diferentes edades de reacción (entre 1 y 28 días). Los resultados se expresan en mmol/l de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , siendo estos la diferencia entre la concentración de saturación y la existente en la muestra de ensayo. Indican un consumo de cal por parte de las Cenizas que a la edad de 7 días supera el 65%, que continúa con el tiempo alcanzando el 80,5% a los 28 días.

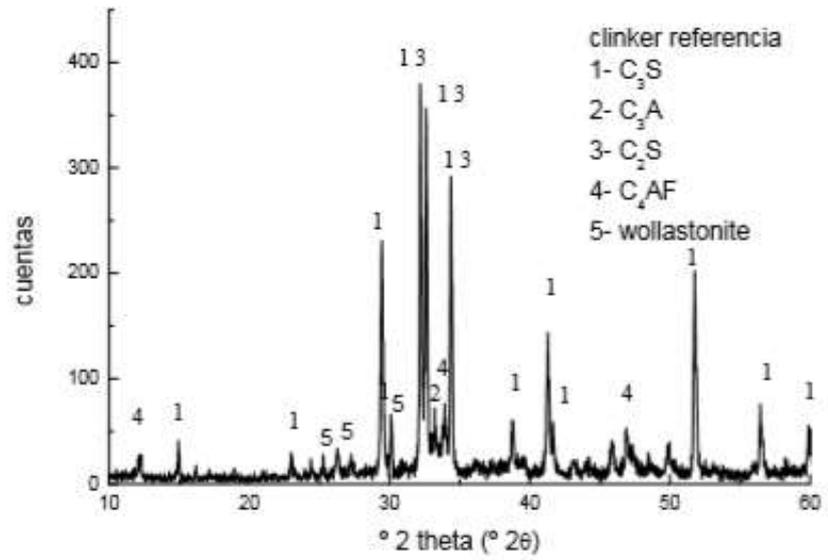


Figura 1: DRX clinker de referencia.

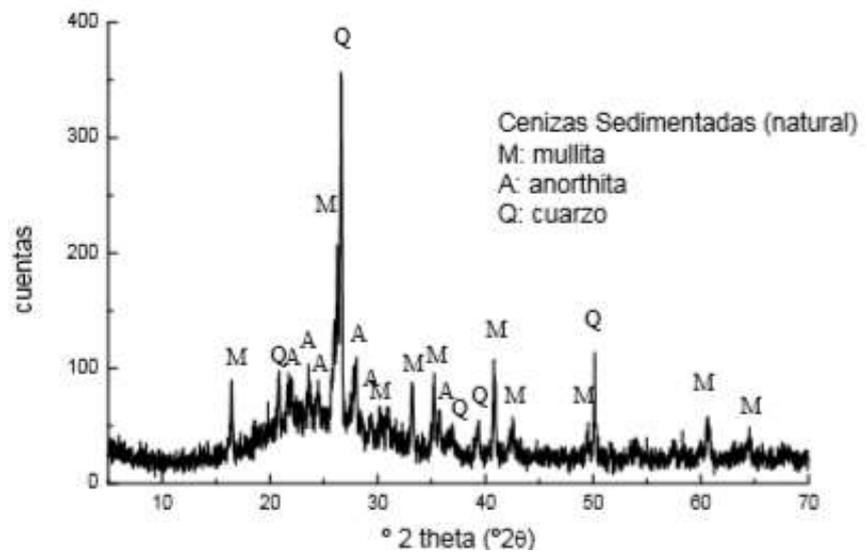


fig 03. Rayos x de ceniza de maíz

## CALORIMETRÍA DIFERENCIAL

El comportamiento durante la hidratación temprana del material se muestra a través de las siguientes curvas calorimétricas. Los ensayos de calorimetría diferencial se hicieron sobre pastas con  $w/cm= 0,4$  y a la temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ . El método consiste en detectar los cambios de energía térmica ( $\Delta H$ ) que sufre una muestra que se está hidratando, con respecto a una referencia que permanece inerte, midiendo de manera continua la diferencia de temperatura que existe entre ambos materiales a lo largo de las 48hs. que dura el ensayo. Como puede observarse en la Figura 4, tan pronto como el material se pone en contacto con el agua se genera una gran liberación de calor.

El calor desarrollado aquí, corresponde a la hidratación y solubilización de las superficies más reactivas de las partículas.

El agua se satura de iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{OH}^-$  (entre otros) provenientes de la hidrólisis del  $\text{C}_3\text{S}$ ,  $\text{C}_3\text{A}$  y de los hidróxidos alcalinos del clinker. La cinética de este proceso es rápida, el control es químico y está fuertemente ligada a la superficie específica del material.

Tal como se observa en la Figura, el pico inicial del material CCs muestra menor intensidad que el correspondiente a CR debido al efecto de dilución del clinker, esto mostraría una mayor inercia inicial de la adición.

A esta etapa sigue un proceso de aparente inactividad, conocido como “período durmiente” (mesetaprimer depresión de la curva). Esta situación determina que el cemento permanezca en estado plástico por algunas horas, estando el proceso controlado por la formación de núcleos de tamaño crítico.

El final del período durmiente determina el inicio del fraguado -comienzo de la banda exotérmica. Posteriormente se observa un período de aceleración que determina en su punto máximo el final del proceso de formación de núcleos de los hidratos y el inicio de ganancia de resistencia de la pasta debido al crecimiento y entrecruzamiento de los mismos. Por ello éste máximo se correlaciona con el final del fraguado. Este proceso es de control químico. Finalmente se observa la zona de crecimiento de los hidratos, etapa de control difusional en el transporte de masa a los centros de crecimiento de los cristales y en consecuencia se completará a largo plazo.

La incorporación de Cs determina una extensión del período durmiente lo que implicaría que el material permanecerá en estado plástico por mayor tiempo que el cemento de referencia (CR).

De la pendiente de las curvas que finalizan en el segundo pico, podemos inferir que CCs tiene una menor velocidad de ganancia de resistencia inicial, lo que podría significar un inconveniente. Cabe aclarar que estamos analizando las primeras horas de hidratación.

A final de las 48 hs. que dura el ensayo (2500 min.) y observando el área total bajo la curva en ese periodo (madurez), CR y CCs no difieren significativamente y como se verá más adelante, no tiene efecto alguno sobre la resistencia final.

## **VENTAJAS DEL EMPLEO DE LAS PUZOLANAS**

En general, las ventajas de todo orden que pueden obtenerse de los puzolánicos son las señaladas en fig09. Dichas ventajas hacen aptos a los cementos puzolánicos para una amplia serie de empleos específicos que se detallan en la tabla 04.

Tab 04 comportamiento de la cs

<p><b>A. En la resistencia mecánica</b>  A.1 A largo plazo, al prolongar el período de endurecimiento  A.1.1 A tracción  A.1.2 A compresión  A.1.3 Mejor relación tracción - compresión</p>	<p><b>E. En la plasticidad</b>  D.1 Rebajando la relación a/c  D.2 Reduciendo la segregación  D.3 Evitando la exudación y el sangrado</p>
<p><b>B. En la estabilidad</b>  B.1 Frente a la expansión por cal libre  B.2 Frente a la expansión por sulfatos  B.3 Frente a la expansión por la reacción álcalis - agregado  B.4 Frente a la retracción hidráulica de secado, por la menor relación a/c  B.5 Frente a la retracción térmica por enfriamiento  B.6 Frente a la fisuración</p>	<p><b>F. En la impermeabilidad</b>  F.1 Reduciendo la porosidad  F.2 Evitando la formación de eflorescencias  F.3 Produciendo la mayor cantidad de Tobermorita</p>
<p><b>C. En la durabilidad</b>  C.1 Frente a ataques por agua puras y ácidas  C.2 Frente a ataques por aguas y suelos sulfatados  C.3 Frente a ataques por agua de mar  C.4 Frente a ataques por gases de descomposición y fermentación de materias orgánicas  C.5 Frente a la desintegración por la reacción álcalis - agregado</p>	<p><b>G. En la adherencia</b>  G.1 Del agregado a la pasta  G.2 Del mortero a las armaduras</p>
<p><b>D. En el rendimiento y la economía</b>  D.1 Al corresponder a los cementos puzolánicos mayor volumen que a otros conglomerantes a igualdad de peso  D.2 Al ser los cementos puzolánicos, en general, conglomerantes más baratos</p>	<p><b>H. En el comportamiento térmico</b>  H.1 Al liberar menor calor de hidratación  H.2 Al producir menor elevación de temperatura</p>

## CAL

La cal (del latín calx) es una sustancia alcalina constituida por óxido de calcio (CaO), de color blanco o blanco grisáceo, que al contacto del agua se hidrata o apaga, con desprendimiento de calor, y mezclada con arena forma una argamasa o mortero de cal.<sup>2</sup> También los alquimistas llamaban cal a cualquier óxido metálico o escoria.<sup>3</sup>

Otro compuesto llamado cal, es el óxido de calcio y magnesio o dolomía calcinada (CaMgO<sub>2</sub>)

A este óxido (o cal) también se refieren coloquialmente como cal viva o cal apagada, dependiendo de si está o no hidratado. La cal viva es el óxido de calcio, mientras que la cal apagada es su hidróxido. A su vez, la piedra caliza (piedra de cal o cal endurecida) es en realidad una roca sedimentaria compuesta principalmente de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

### Estructura

Cristalina (tipo sal de gema) para el óxido de calcio. Las esferas rojas voluminosas corresponden a los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y las esferas blancas a los iones  $\text{O}^{2-}$ .

En este arreglo cristalino cúbico cada ion  $\text{Ca}^{2+}$  está rodeado de seis iones  $\text{O}^{2-}$ , ocluidos en los huecos octaédricos que dejan los iones grandes entre ellos.

Esta estructura expresa al máximo el carácter iónico de este óxido, aunque la notable diferencia de los radios (la esfera roja es más grande que la blanca) le confiere una energía reticular cristalina más débil si se le compara con el  $\text{MgO}$ .

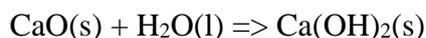
### Propiedades

Físicamente, es un sólido blanco cristalino, inodoro y con fuertes interacciones electrostáticas, las cuales son responsables de sus altos puntos de fusión ( $2572\text{ }^\circ\text{C}$ ) y ebullición ( $2850\text{ }^\circ\text{C}$ ). Además, tiene un peso molecular de  $55,958\text{ g/mol}$  y la interesante propiedad de ser termoluminiscente.

Esto quiere decir que un trozo de óxido de calcio expuesto a una llama puede brillar con una intensa luz blanca, conocida en inglés con el nombre limelight, o en español, luz de calcio. Los iones  $\text{Ca}^{2+}$ , en contacto con el fuego, originan una llama rojiza.

## SOLUBILIDAD

El CaO es un óxido básico que presenta una fuerte afinidad por el agua, a tal grado que absorbe humedad (es un sólido higroscópico), reaccionando inmediatamente para producir cal apagada o hidróxido de calcio:



Esta reacción es exotérmica (desprende calor) debido a la formación de un sólido con interacciones más fuertes y una red cristalina más estable. Sin embargo, la reacción es reversible si se calienta el Ca(OH)<sub>2</sub>, deshidratándolo y encendiendo la cal apagada; entonces, la cal “renace”.

La solución resultante es muy básica, y si se satura con óxido de calcio alcanza un pH de 12,8.

Igualmente, es soluble en glicerol y en soluciones ácidas y azucaradas. Como es un óxido básico, naturalmente tiene interacciones eficaces con los óxidos ácidos (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, por ejemplo) siendo soluble en las fases líquidas de los mismos. Por otro lado, es insoluble en alcoholes y solventes orgánicos.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

#### **Justificación Teórica**

La presente investigación se proyecta a complementar los conocimientos existentes referidos a las materias primas que podrían sustituir al cemento en la preparación de un concreto estructural y no estructural, de tal modo que se mejore o se mantenga la resistencia a la compresión en comparación a un concreto patrón elaborado con el 100% de cemento calculado por los diversos métodos de diseño de mezcla.

La presente investigación se proyecta a complementar los conocimientos existentes referidos a las materias primas que podrían sustituir al cemento en la preparación de un concreto estructural y no estructural, de tal modo que se mejoren o se mantengan las propiedades físicas y mecánicas en comparación a un concreto patrón a compresión de 210 f'c, elaborado con el 100% de cemento calculado por los diversos métodos de diseño de mezcla.

### **Justificación Practica**

Para la elaboración de un concreto estructural, normalmente se requieren en promedio de 8 a 9 bolsas de cemento por metro cubico, motivo por el que el costo de elaboración del concreto esta principalmente en función al costo del cemento. La presente investigación pretende sustituir de 1.2 a 2 bolsas de cemento por unidad de metro cubico de concreto por cal y ceniza de la planta de maíz y demostrar que no se estaría afectando las propiedades físicas y mecánicas del concreto patrón de 210 f'c, con dicha sustitución, proponiendo así una alternativa de ahorro económico en caso de ser necesario la fabricación de grandes volúmenes de concreto. Aunque el hecho de disminuir las cantidades requeridas de cemento para la elaboración de un concreto con determinadas propiedades físicas y mecánicas no sería muy favorable para las empresas que se dedican a la fabricación del cemento, este sería bastante amigable con el medio ambiente, pues como ya se sabe el impacto ambiental con la fabricación del cemento es bastante considerable.

### **PROBLEMA**

Desde ya hace muchos años atrás se ha venido empleando el cemento como principal aglomerante para la elaboración de la piedra artificial conocida como “concreto”, siendo este material el más usado en la actualidad por los excelentes resultados que ha mostrado su utilización, en la actualidad se viene empleando de manera masiva, siendo casi imposible su sustitución por otro aglomerante.

A de tenerse en cuenta que el costo por unidad cubica de concreto, referido a materiales, esta principalmente afectada por la cantidad de cemento que interviene en la preparaci3n del concreto, por lo que en la b3squeda de minimizar los costos y el aprovechamiento de las materias primas que existen en la zona sierra del departamento de Ancash, en especial los existentes en el callej3n de Huaylas, se establece que la combinaci3n de cal y ceniza de la planta de ma3z por su alto contenido de 3xido de calcio y oxido de silicio respectivamente pueden incrementar el silicato bicalcico y tricalcico contenido en el cemento portland tipo I, incrementando as3 la capacidad de adquirir mayores resistencias a tempranas edades. Es as3 que para evaluar la factibilidad de la sustituci3n del cemento por la combinaci3n de cal y ceniza de planta de maiz se establece la siguiente pregunta;

¿Cu3l es la resistencia a la compresi3n del concreto sustituyendo al cemento por la combinaci3n de ceniza de la planta de ma3z y cal en 8% y 12%, en comparaci3n con un concreto convencional F'C 210KG/cm2?

#### 1.4. CONCEPTUACI3N Y OPERACIONALIZACI3N DE LAS VARIABLES

**Variable Dependiente:**

<b>Variable</b>	<b>Definici3n conceptual</b>	<b>Definici3n operacional</b>	<b>Indicador</b>
Resistencia a la compresi3n del concreto	Es el m3ximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse	Es el esfuerzo m3ximo axial que puede soportar un testigo de concreto bajo una carga.	Kg/cm <sup>2</sup>

**Variable independiente:**

<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICION OPERACIONAL</b>	<b>INDICADOR</b>
Sustitución de la combinación de ceniza de la planta de maíz y cal	Es una combinación que sustituirá al cemento en un concreto $f'c$ 210kg/cm <sup>2</sup>	0 – 8 - 12 %

## 1.5. HIPÓTESIS

Al sustituir al cemento por la combinación en un 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maíz) y 12 % (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maíz) de cal y ceniza de la planta de maíz se obtendrá una mayor resistencia a la compresión de un concreto patrón de 210 F'C.

## 1.6. OBJETIVOS

### Objetivo General

Determinar la resistencia a la compresión, sustituyendo al cemento en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maíz) y 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maíz); por una combinación de ceniza de la planta de maíz y cal.

### Objetivos Específicos

- Determinar el grado de calcinación mediante el ensayo ATD.

- Determinar los componentes químicos de la cal y ceniza de la planta de maíz, mediante el ensayo de fluorescencia de rayos x.
- Determinar el PH de la muestra del patrón y experimental.
- Determinar el peso específico de la muestra patrón y experimental.
- Determinar y comparar la resistencia del concreto patrón y experimental a los 7,14 y 28 días de curado y realizar la validez estadística.

## **II. METODOLOGÍA**

### **2.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

#### **Tipo De Investigación**

Sera una investigación explicativa porque se pretende explicar el porqué de cada uno de los comportamientos mecánicos que se obtengan mediante los ensayos de laboratorio. El tipo de investigación será aplicada, porque los resultados obtenidos servirán para la solución de problemas relacionados al diseño de mezcla, mejorando así las propiedades del concreto tales como: resistencia a la compresión y trabajabilidad.

#### **Diseño De Investigación**

La investigación según su alcance y naturaleza corresponde a un diseño experimental del caso diseño en bloque completo al azar, porque mediante la aplicación del método de la experimentación y de la observación científica se determinara el resultado de la resistencia a la compresión en el diseño de mezcla de concreto en donde se va a comparar nueve grupos de estudio realizando el control y manipulación de la variable independiente en base a las dimensiones del diseño de mezcla del concreto sustituyendo al cemento por la combinación de cal (en 0%, 8% y 12%) y ceniza de maíz (en 0%, 8% y 12%), buscando resultados a través de una serie de repeticiones de acuerdo al ensayo de concreto en estado

endurecido, evaluando principalmente la resistencia a la compresión. Todos los ensayos se ejecutan en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad San Pedro - Huaraz, observando y debatiendo los resultados con técnicos profesionales en el ámbito de tecnología del concreto.

DIAS DE CURADO	Patrón 0%	Combinación de cal y ceniza de la planta de maíz 8%	Combinación de cal y ceniza de la planta de maíz 12%
	7	P1 	P1 
P2 		P2 	P2 
P3 		P3 	P3 
14	P1 	P1 	P1 
	P2 	P2 	P2 
	P3 	P3 	P3 
28	P1 	P1 	P1 
	P2 	P2 	P2 
	P3 	P3 	P3 

Siendo el diseño en bloques de la investigación el siguiente:

<b>RESISTENCIA DE COMPRESION</b>
----------------------------------

Fig. 05 diseño de bloques

La población se define como la totalidad del fenómeno a estudiar donde las unidades de población poseen una característica común la cual se estudia y da origen a los datos de la investigación. Con la finalidad de obtener buenos resultados las normas NTP y ASTM indican los procedimientos a seguir para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.

Para la resistencia a la compresión se tiene como población de estudio al conjunto de las 27 probetas cilíndricas con un diseño de mezcla es de  $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$

### **III. RESULTADOS**

#### **DISEÑO DE MEZCLA**

La obtención de las cantidades de materiales para la elaboración de los especímenes de concreto se realizó mediante el diseño de mezcla establecido por el Instituto Americano del Concreto (ACI), habiéndose realizado previamente el estudio de agregados, cuyos resultados se resumen a continuación:

#### **PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO**

- a) Contenido de Humedad: 0.8 %, correspondiente al momento de la preparación del concreto.
- b) Porcentaje de absorción: 0.88%
- c) Peso específico de masa:  $2.71 \text{ T/m}^3$
- d) Peso unitario suelto:  $1459 \text{ Kg/m}^3$
- e) Peso unitario compactado:  $1546 \text{ Kg/m}^3$
- f) Granulometría:

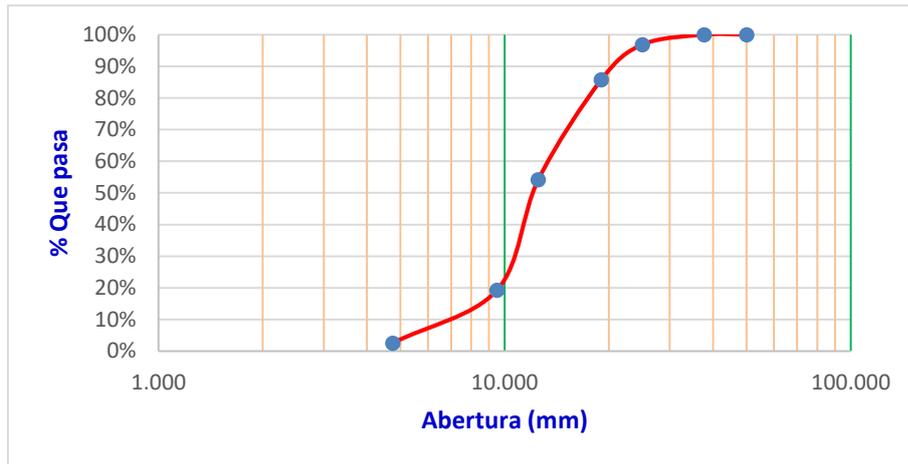


FIG.06: Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

El tamaño máximo nominal determinado mediante el análisis granulométrico fue de 3/4"

### PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

- a) Contenido de Humedad: 3.5 %, correspondiente al momento de la preparación del concreto.
- b) Porcentaje de absorción: 1.25%
- c) Peso específico de masa: 2.63 T/m<sup>3</sup>
- d) Peso unitario suelto: 1626 Kg/m<sup>3</sup>
- e) Peso unitario compactado: 1728 Kg/m<sup>3</sup>
- f) Granulometría:

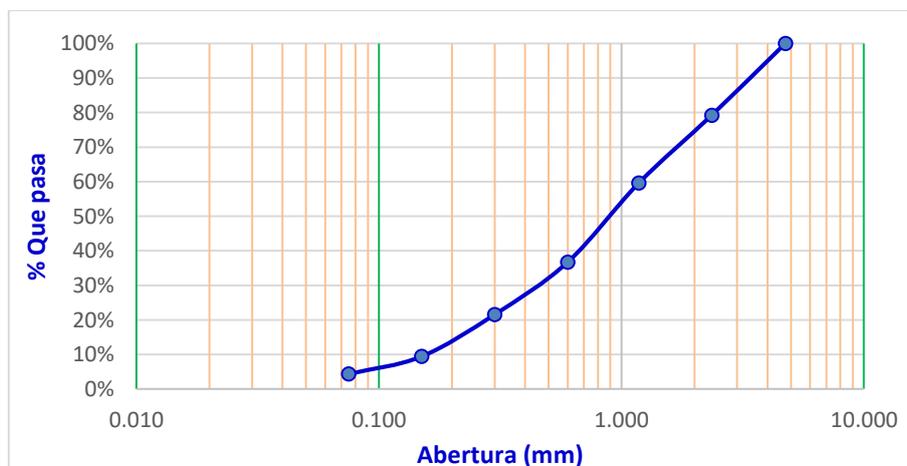


FIGURA 07: Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

El módulo de fineza determinado mediante el análisis granulométrico es de 3.0, debido a que para el diseño de mezcla por el método del ACI.

### **CANTIDAD DE MATERIALES PARA EL CONCRETO PATRON**

La cantidad de cemento, agua, agregado grueso y agregado fino por metro cubico de concreto para un  $f'c=210$  Kg/cm<sup>2</sup>, es el que se muestra a continuación:

Cemento:	16.92 Kg/m <sup>3</sup>
Agua:	10.52 L/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	46.62 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado grueso :	58.05Kg/m <sup>3</sup>

La cantidad de cemento, agua, agregado fino y agregado gruesos para el diseño de concreto patrón de  $F'C=210$  , para 9 testigos de probetas.

### **CANTIDAD DE MATERIALES PARA LOS TESTIGOS EXPERIMENTALES**

Las cantidades de cemento, agregado grueso, agregado fino y agua para la preparación del concreto fueron determinadas mediante el diseño de mezcla por el método del ACI, a partir de ello se pudo determinar las cantidades de cal y ceniza de maíz de acuerdo a los porcentajes de sustitución establecidos mediante cálculos aritméticos simples.

A continuación, se muestra la cantidad de materiales para cada combinación de cemento, cal y ceniza de maíz:

Tabla 05: Cantidad de materiales para elaboración de testigos experimentales

<b>Combinaciones</b>	<b>A. grueso (Kg)</b>	<b>A. fino (Kg)</b>	<b>Agua (L)</b>	<b>Cemento (Kg)</b>	<b>Cal (Kg)</b>	<b>Ceniza (kg)</b>
----------------------	-----------------------	---------------------	-----------------	---------------------	-----------------	--------------------

Comb 1: cal (0%) + ceniza de maiz (0%)	58.05	46.62	10.52	16.92	0.00	0.00
Comb 2: cal (6%) + ceniza de maiz (2%)	58.05	46.62	10.52	15.56	1.02	0.34
Comb 3: cal (9%) + ceniza de maiz (3%)	58.05	46.62	10.52	14.88	1.53	0.51

Fuente: Elaboración propia

Las cantidades que se muestran en el cuadro anterior son por Comb 1-2-3 ( se refiere a 9 testigos de probeta por cada comb).

**COMPOSICION QUIMICA DE LA CAL + CENIZA DE LA PLANTA DE MAIZ**

Para la determinación de la composición química de la Ceniza, fue necesario realizar el análisis de una muestra por fluorescencia de rayos – X dispersiva en energía (FRXDE), a través de esta prueba se pudo determinar la factibilidad de sustituir al cemento por la combinación de ceniza de la planta de maíz + cal, los aspectos evaluados fueron las cantidades de Óxidos de Silicio y Calcio, los cuales se encontraron en porcentajes de 46.81% y 6.43% respectivamente.

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Universidad Nacional de Trujillo, los resultados se anexan en el apartado VIII del presente.

Tabla 06: Composición química de la ceniza de maíz + cal

<b>Oxido</b>	<b>Descripción</b>	<b>Concentración % masa</b>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de aluminio	1.34
SiO <sub>2</sub>	Oxido de silicio	46.81
K <sub>2</sub> O	Oxido de potasio	1.14
CaO	Oxido de calcio	6.43

TiO	Oxido de titanio	0.001
MnO	Oxido de manganeso	4.32
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Óxido de hierro	0.14
Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxido de níquel	0.001

## RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de compresión axial, en estas se puede apreciar las resistencias obtenidas por cada tipo de concreto analizado:

- a) Combinación 1: Elaborado con el 100% de cemento calculado en el diseño de mezcla, siendo la resistencia de diseño  $f^c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , se alcanzó una resistencia  $f^c=210.3 \text{ Kg/cm}^2$ , siendo con ello un 0.3% mayor a lo proyectado. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 07: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 1

Descripción	Edad (Días)	f <sup>c</sup> Obtenido (Kg/cm <sup>2</sup> )
	7	157.44
Comb 1: Cal (0%) + ceniza (0%)	14	189.17
	28	210.30

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- b) Combinación 2: Elaborado con el 92% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 6% de cal + 2% de ceniza de la planta de maiz que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia  $f^c=244.87 \text{ Kg/cm}^2$ , siendo  $34.87 \text{ Kg/cm}^2$  mayor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 08: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 2

<b>Descripción</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>f'c Obtenido (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
	7	198.3
Comb 2: Cal (6%) + ceniza (2%)	14	228.6
	28	244.87

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- c) Combinación 3: Elaborado con el 88% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 9% de cal+ 3 % de ceniza de maiz que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia  $f'c=189.67 \text{ Kg/cm}^2$ , siendo 20.33  $\text{Kg/cm}^2$  menor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 09: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 3

<b>Descripción</b>	<b>Edad (Días)</b>	<b>f'c Obtenido (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
	7	143.97
Comb 3: Cal (9%) + ceniza (3%)	14	159.37
	28	189.67

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

## **RESISTENCIA A LA COMPRESION DE TESTIGOS POR EL SISTEMA ANOVA**

Tabla 10: Resistencias a la compresión de probetas de concreto con sustitución de cemento por la combinación de Cal y ceniza de planta de Maíz según días de curado

Días de curado	Resistencia de concreto con cal y ceniza de planta de Maíz		
	Patrón	8% (6C y 2CM)	8% (6C y 2CM)
7	157,44	198,30	143,97
14	189,17	228,60	159,37
28	210,30	244,87	189,67

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio, USP

Después de verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad con Shapiro – Wilk (con un  $p > 0.05$  para cada tratamiento) y homogeneidad de varianzas con la prueba de Levene ( $p = 0.976$  y  $p > 0.05$ ) de las resistencias medias obtenidas en las probetas de concreto en cada tratamiento (sustitución de cemento por una combinación de cal y ceniza de la planta de maíz) se procedió a realizar la prueba ANOVA

Tabla 11: Cálculo de la prueba ANOVA para verificar las diferencias entre las medias de las resistencias a la compresión de las probetas de concreto.

Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig
Cal_C_Maíz	5470,130	2	2735,065	111,024	,000

Días_curado	3515,712	2	1757,856	71,356	,001
Error	98,540	4	24,635		
Total	9084,382	8			

Fuente: Resultados de los ensayos del laboratorio, USP.

También se tienen que para los días de curado  $p\text{-value} < \alpha$  ( $p=0.001$ ,  $p < 0.05$ ) entonces podemos decir que las resistencias medias de las probetas de concreto son diferentes a consecuencia de los días de curado (existe un efecto significativo de los días de curado en las resistencias medias).

Tabla 12: Cálculo de la prueba de Duncan para verificar cuál de las resistencias medias de las probetas de concreto son diferentes.

Porcentaje de cal y ceniza de planta de maíz		Subconjunto para $\alpha = 0,05$		
	1	2	3	
12 %	164,3367			
0 %.		185,6367		
8 %.			223,9233	

Fuente: Laboratorio de mecánica de suelos y ensayo de materiales

8 % combinación	223.9233 .....	a
0 % combinación	185.6367 .....	b
12 % combinación	164,3367.....	c

En la tabla 12, después de realizar la prueba de Duncan podemos apreciar que las probetas de concreto que tienen mayor resistencia a la compresión es la que recibe como tratamiento 6% de cal y 2% de ceniza de planta de maíz, la que sigue es la del patrón, y finalmente las resistencias menores corresponden a las probetas que reciben un 9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maíz.

#### **IV. ANALISIS Y DISCUSION**

En el presente capítulo se analizó los resultados obtenidos de los ensayos de las propiedades de los agregados, el ensayo fluorescencia de rayos x de la ceniza y planta de maíz, componentes químicos de la ceniza de la planta de maíz y cal, y el análisis de resistencia de compresión del concreto sustituyendo cal y ceniza de la planta de maíz

#### **AGREGADOS.**

El agregado fino (Arena) proveniente de la cantera Tacllan nos muestra que el porcentaje que pasa la malla N° 200 es 1.25%, este cumple con la norma ASTM C33, en donde se indica que el porcentaje debe ser menor que 5%, . El agregado fino tiene el MF de 3 cumpliendo con el método de ACI. Según (Pasquel, 1993) el agregado que tiene el peso específico entre 2500kg/m<sup>3</sup> a 2750kg/m<sup>3</sup> se le considera agregado normal, y si es menor al 2500kg/m<sup>3</sup> se le considera agregado ligero. En los resultados obtenidos muestra que el agregado grueso y el agregado fino están normal con peso específico de 2710kg/m<sup>3</sup> y 2630kg/m<sup>3</sup> respectivamente, nos muestra que los pesos unitarios se encuentran en ese rango.

## **ANALISIS DE LAS RESISTENCIAS OBTENIDAS**

Los ensayos de compresión axial de los testigos de concreto fueron realizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad San Pedro, a través de ello se pudo obtener diferentes resistencias a la compresión que se vieron diferenciados por las cantidades de cal y ceniza de la planta de maíz, que sustituían al cemento.

## **CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL Y CENIZA DE LA PLANTA DE MAIZ**

Habiéndose variado el cemento a la cantidad de ceniza de la planta de maiz + cal en 8- 12% y en dos combinaciones 8% (6 de cal + 2 ceniza de la planta de maiz ) y 12%(9 de cal + 3 ceniza de la planta de maiz )

Elaborado con el 92% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 6% de cal + 2% de ceniza de la planta de maiz que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia  $f^c=244.87 \text{ Kg/cm}^2$ , siendo  $34.87 \text{ Kg/cm}^2$  mayor al concreto patrón.

En síntesis, el rango de la combinación de la ceniza de la planta de maiz + cal es de 5 hasta 10 % basado en los resultados obtenidos, y también en los antecedentes mencionados en la presente tesis.

También analizando con los resultados obtenidos en:

- En la tabla 10 se puede apreciar que las resistencias a la compresión de las probetas de concreto son mayores a los 28 días de curado y menores resistencias de presenta a los 7 días de curado.
- En la tabla 11 se puede visualizar que para la sustitución de cemento por cal y ceniza de la planta de maíz (en una combinación de 8% y 12%) el  $p\text{-value} < \alpha$  ( $p=0.000$ ,  $p < 0.05$ ) entonces podemos decir que los datos muestran suficientes evidencias para rechazar la hipótesis nula ( $H_0$ : resistencias medias iguales). Por lo que podemos concluir que con nivel de 5% de significancia las resistencias medias en  $\text{kg/cm}^2$  logradas en las probetas de concreto, con sustitución de cemento por cal y ceniza de la planta de maíz 0%, 8%, y 12%, no son iguales. Es decir, existe una diferencia significativa entre las resistencias medias de las probetas de concreto.
- En la tabla 12, después de realizar la prueba de Duncan podemos apreciar que las probetas de concreto que tienen mayor resistencia a la compresión es la que recibe como tratamiento 6% de cal y 2% de ceniza de planta de maíz, la cual nos da la verificación que tenemos diferentes resultados que se tuvo que trabajar con el sistema Duncan , para verifica que la combinación de 8% que se sustituye al cemento nos generó excelente resistencia por su diseño de mezcla, cabe recalcar que en el 12% que se sustituyó al cemento con ceniza de la planta de maíz y cal no se obtuvo buen resultado debido que en el proceso de la mezcla en el trompito la mezcla estaba muy espeso se agregó el agua a la cantidad mencionada en el diseño de mezcla, pero debido a que hay más cal y ceniza de la planta de maíz se requería mas agua

## V. CONCLUSIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos por el análisis FRXDE, mediante el cual se buscó determinar la composición química a nivel de óxidos de la cal y la ceniza de la planta de maíz, se puede concluir que ambos conglomerantes poseen propiedades cementantes, Óxidos de Silicio y Calcio, los cuales se encontraron en porcentajes de 46.81% y 6.43% respectivamente.
- La relación a/c de la mezcla varía de acuerdo al incremento de la cantidad de la cal y la ceniza de la planta de maíz sustituido, por lo que se concluye q la sustitución del cemento, al tener contenido de humedad muy baja se involucra directamente en la relación a/c, la relación a/c idóneo es de la mezcla con 0.41 que es muy cercana a la relación a/c teórico asumido en el diseño de la mezcla que es de 0.40, lo cual se notó que al mezclarlo estaba espeso.
- Se pueden definir como “combinaciones óptimas de sustitución” a las combinaciones 8% (6% de cal + 2% de ceniza de la planta de maiz que sustituye al cemento), se alcanzó una resistencia  $f'c=244.87 \text{ Kg/cm}^2$ , siendo  $34.87 \text{ Kg/cm}^2$  mayor al concreto patrón., lo cual nos generó mayor resistencia a la compresión.  
Es factible la utilización de la cal y la ceniza de maíz para sustituir al cemento en la elaboración del concreto, en un 8%.
- La menor resistencia a la compresión la proporciona la combinación 3 un 12% ( 9% de cal+ 3 % de ceniza de maíz),que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia  $f'c=189.67 \text{ Kg/cm}^2$ , siendo  $20.33 \text{ Kg/cm}^2$  menor al concreto patrón. que sustituye al cemento por cal y ceniza de maíz en un 12 %, motivo por el cual no se recomienda su utilización.
- Habiéndose realizado la evaluación de los resultados obtenidos en los antecedentes y en la presente investigación, se concluye que es óptima la sustituciones de cal + ceniza de maíz por cemento en porcentajes hasta 10 .

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda la utilización de la cal y la ceniza de maíz como conglomerante que sustituya al cemento en la preparación de concretos estructurales, en especial en porcentajes de 6% y 2% de cal y ceniza de maíz respectivamente.
- Se debe determinar la relación a/c en estado fresco del concreto para poder determinar la relación a/c real y comparar la relación a/c teórico asumido en el momento del diseño. Porque hay variación entre lo real y el teórico.
- En la realización del ensayo de la resistencia a la compresión, se recomienda utilizar al técnico encargado el método de cabeceo a las probetas con azufre para que la distribución de las fuerzas de compresión sea uniforme y reducir las fallas locales.
- Se recomienda a los futuros tesisistas realizar investigaciones para determinar el porcentaje máximo de cal que podría sustituir al cemento para la obtención de un concreto con la resistencia de diseño, esto debido a que con el presente y con investigaciones anteriores no se ha determinado aún dicho porcentaje y su determinación significaría un aporte significativo en la construcción mediante la reducción de costos en la fabricación del concreto.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Abanto, F. (2003). Tecnología del Concreto. Perú: Editorial San Marcos.

ACI 522R-10: Report on Pervious Concrete, American Concrete Institute (ACI), Farmington Hills, MI, [www.concrete.org](http://www.concrete.org).

ACI Committee 522R-10 (2010). Report on Pervious Concrete

ASTM\_C131. (1996). Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. USA: ASTM International.

Castro, J., de Solminihac, H., Videla, C., & Fernández, B. (2009). Laboratory study of mixture proportioning for Pervious concrete pavement. *Revista ingeniería de construcción*, 24 (3), 271-284.

Chinen, K. (2002). Factibilidad y estudio de las propiedades del concreto de baja resistencia adicionado con cal (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima – Perú.

Fernández R. y Navas A. (2008). Diseño de mezclas para evaluar su resistencia a la compresión uniaxial y su permeabilidad. Costa Rica: Universidad de Costa Rica. Recuperado de: <https://es.scribd.com/document/241406528/Diseno-de-Mezclas-Para-Evaluar-Su-Resistencia-a-La-Compresion-Uniaxial-y-Su-Permeabilidad>.

Ferrer, R. (1984). Cales, Cementos y hormigones, Lima, Peru: Editorial Sintesis

Instituto Mexicano del cemento y el concreto - imcyc. (2012). terminología del cemento y del concreto aci 116r-00 (3 ed.). méxico d.f.

Norma ACI 318S-05. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, Farmington Hills, Michigan 48333-9094, USA, Enero 2005

Pozo, E, & Pozo, E. (2014). Resistencia a la compresión del concreto usando cal como aditivo en Huaraz – 2014 (Tesis de pregrado). Universidad San Pedro, Huaraz – Perú

Rivva, L. E. (2013). Diseño de mezclas, Lima, Perú: Imprenta Williams E.I.R.L.

Sánchez, D. (2001), Tecnología del Concreto y del Mortero, Colombia: Bhandar Editores.

Tennis, P., Leming. M.L., and Akers, D.J. (2004), “Pervious Concrete Pavements,” EB 302, Portland Cement Association (PCA), Skokie, Illinois.

Vásquez, J. (2016). Resistencia en concreto con cemento sustituido en un 5% y 7% por arcilla de Carhuaz - Ancash (Tesis de pregrado). Universidad San Pedro, Chimbote – Perú.

## **VIII. AGRADECIMIENTOS**

La vida está plagada de retos, y uno de ellos es la universidad, más allá de ser un reto, es una base no solo para nuestro entendimiento en el campo en el que nos hemos visto inverso, sino para lo que concierne a la vida y nuestro futuro.

A mi pareja y mis dos pequeños hijos por darme un tiempo y cumplir mi sueño de ser una buena profesional.

A mis padres y hermanos que por sus apoyos y confianza en todo lo necesario para cumplir mi objetivo como persona y estudiante.

## **IX. ANEXOS Y APENDICE**

## **APENDICE**

**APENDICE A:**  
**ANALISIS FRXDE DE LA CAL + CENIZA DE MAIZ**



LASACI

REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE MUESTRA POR EL ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL

Table with 2 columns: Field Name and Value. Fields include SOLICITANTE, TESIS, MUESTRA, FECHA, INSTITUCION, and MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO.

1. MUESTRA: CENIZA DE MAÍZ (1. GR)

Table with 3 columns: N° DE MUESTRAS, CANTIDAD DE MUESTRA ENSAYADA, and PROCEDENCIA. Row 1: 1, 35 MG.

2. ENSAYOS A APLICAR

- ANALISIS TERMICO DIFERENCIAL ATD
ANALISIS TERMOGRAVIMETRICO TGA

3. EQUIPO EMPLEADO Y CONDICIONES

- ANALIZADOR TERMICO SIMULTANEO TG\_DTA\_DSC CAP. MAX 1600°C SETSYS\_EVOLUTION, CUMPLE CON NORMAS ASTM ISO 11357, ASTM E967, ASTM E968, ASTM E793, ASTM D3895, ASTM D3417, ASTM D3418, DIN 51004, DIN 51007, DIN 53765.
TASA DE CALENTAMIENTO: 20 °C/MIN
GAS DE TRABAJO - FLUJO: NITROGENO, 10 ML/MIN
RANGO DE TRABAJO 25 - 920°C
MASA DE MUESTRA ANALIZADA: 35 MG

JEFE DE LABORATORIO
ANALISTA RESPONSABLE

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA
ING. CARLOS VALQUI MENDOZA

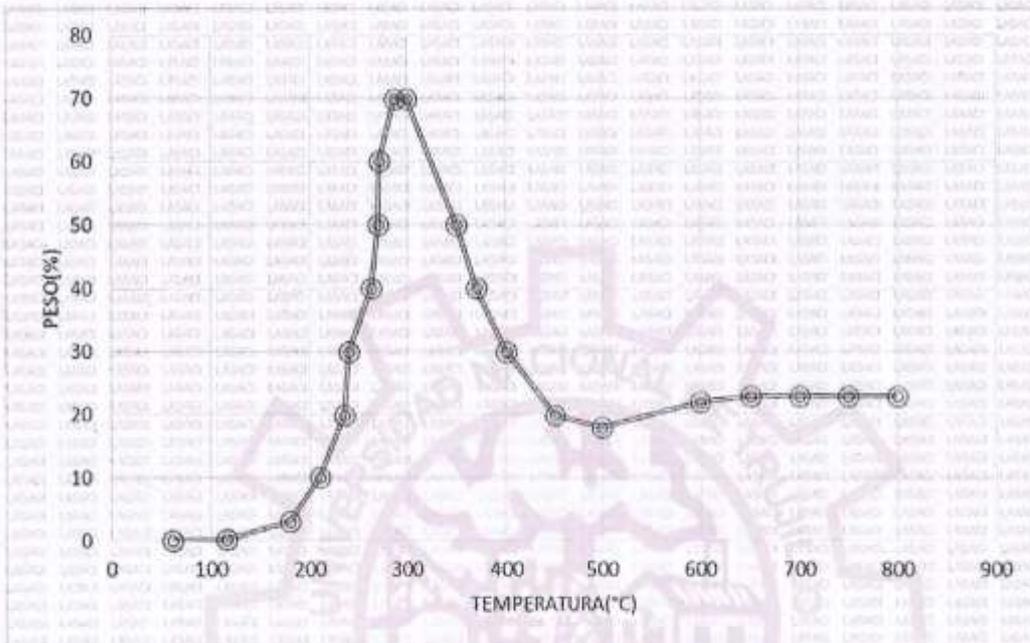




**LASACI**

**4. RESULTADOS**

**e. CURVA TGA Y ATD**



**5. CONCLUSION**

- Para la presente investigación de la ceniza de maíz, El porcentaje de cenizas de acuerdo al análisis de emisión de quemado es de 0.23%.
- El análisis termo gravimétrico de ceniza de maíz, indica un pico de temperatura máxima de 303°C por un periodo de tiempo de 2hr. entre 250 y 410 °C

*Ing. Carlos A. Valqui Mendoza*  
**DIRECTOR LASACI**

Trujillo, 24 de Abril del 2019.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

## LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



### LASACI

### REPORTE DE ANALISIS

<b>SOLICITANTE</b>	DHAYAMI MERCEDITA VELÁSQUEZ SALAZAR
<b>TESIS</b>	"Resistencia a la compresión del concreto, sustituyendo al cemento en 8% y 12% por combinación de cal y ceniza de la planta de maíz"
<b>MUESTRA</b>	OXIDO DE CALCIO
<b>FECHA</b>	15 DE ABRIL DEL 2019
<b>INSTITUCION</b>	

#### Análisis físicos

Determinación	Resultados
Aspecto	Bueno
Color	Blanco
Granulometría (malla 100)	97 %

#### Análisis Químicos

Determinación	Formulas	Unidades	Resultados
Oxido de calcio	CaO	%	91.63
Oxido de Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.064
Oxido de magnesio	MgO	%	0.528
Oxido de silicio	SiO <sub>2</sub>	%	1.79
Oxido de aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	0.51
Impurezas de carbón		%	0.21

TRUJILLO 24 DE ABRIL DEL 2019

**Ing. Carlos A. Valqui Mendoza**  
 DIRECTOR LASACI

/ GUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

**FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA**

☎ 949959632 / 933623974



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



## LASACI

### REPORTE DE MEDICION Y ANALISIS DE MUESTRA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X

<b>SOLICITANTE</b>	DHAYAMI MERCEDITA VELÁSQUEZ SALAZAR
<b>TESIS</b>	"Resistencia a la compresión del concreto, sustituyendo al cemento en 8% y 12% por combinación de cal y ceniza de la planta de maíz"
<b>MUESTRA</b>	CENIZA DE MAÍZ
<b>FECHA</b>	
<b>INSTITUCION</b>	

#### MUESTRA RECIBIDA EN LABORATORIO

#### 1. CONSIDERACIONES EXPERIMENTALES

##### CONDICIONES DE LA MEDICION:

El análisis se realizó en un espectrómetro de fluorescencia total de rayos x marca **BRUKER, MODELO S2-PICOFOX.**

Fuente de rayos x: tubo de Mo.

Tiempo de medida: 2000 segundos.

##### ESTANDAR INTERNACIONAL PARA

**CUANTIFICACION: Elemento: Galio (Ga)**

Concentración: **lg/l.**

#### 2. CARACTERISTICAS DE LA MUESTRA ANALIZADA

Se analizó 25 mg de la muestra de cenizas de maíz, la cual fue tamizada previamente a malla 200.

#### 3. METODO

- **BASADO EN LA NORMA** : ASTM C25
- **VOLUMETRIA** : USAQ-ME06

JEFE DE LABORATORIO  
ANALISTA RESPONSABLE

ING. CARLOS VALQUI MENDOZA  
ING. CARLOS VALQUI MENDOZA



AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

949959632 / 933623974



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

LABORATORIO DE SERVICIOS A LA COMUNIDAD E INVESTIGACION



## 4. RESULTADOS

## LASACI

Parametros	unidades	muestra
pH	-	9.31
Peso especifico	gr/cm <sup>3</sup>	2.17
SiO <sub>2</sub>	%	46.81
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	5.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	2.95
CaO	%	0.09
MgO	%	0.32
K <sub>2</sub> O	%	1.21
Na <sub>2</sub> O	%	0.064
TiO <sub>2</sub>	%	<0.01

## 5. CONCLUSION

- Al realizar la comparación del espectro de la muestra analizada (véase la figura 1) con las energías características de los elementos de la tabla periódica a partir del sodio (TiO<sub>2</sub>), se encontraron principalmente sílice (Si) con un alto porcentaje. Y en menores porcentajes se encontró; aluminio (Al), hierro (Fe), calcio (Ca) y magnesio (Mg).

  
 Ing. Carlos A. Valqui Mendoza  
 DIRECTOR LASACI

Trujillo, 24 de Abril del 2019

AGUAS - SUELOS - ALIMENTOS - MINERALES - ACEITE - CARBON - CAL

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA

949959632 / 933623974

## **APENDICE B : ESTUDIO DE LOS AGREGADOS**



**CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216-71**

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
TESIS	: "Resistencia a la Compresion del Concreto, Sustituyendo al Cemento en 8% y 12% por Combinacion de Cal y Ceniza de la Planta de Maiz"
SOLICITA	: <b>Bach. Velasquez Salazar, Dhayami Mercedita</b>
DISTRITO	: HUARAZ
PROVINCIA	: HUARAZ
PROG (KM.)	:
HECHO EN	: USP -HUARAZ
FECHA	: 21/04/2019
ASESOR	:

DATOS DE LA MUESTRA	
CALICATA	:
MUESTRA	: AGREGADO GRUESO, AGREGADO FINO
PROF. (m)	:

AGREGADO GRUESO					
Nº TARRO		1	18		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	1357,0	1309,5		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	1348,5	1299,5		
PESO DE AGUA	(g)	8,50	10,00		
PESO DEL TARRO	(g)	161,20	164,4		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	1187,30	1135,1		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0,72	0,9		
HUMEDAD PROMEDIO	(%)	0,80			

AGREGADO FINO					
Nº TARRO		45	4		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	913,5	931,0		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	866,8	905,2		
PESO DE AGUA	(g)	24,70	25,80		
PESO DEL TARRO	(g)	172,60	168,1		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	716,20	737,1		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	3,45	3,5		
HUMEDAD PROMEDIO	(%)	3,5			



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FILIAL - HUARAZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
ENSAYO DE MATERIALES

*Elizabeth Maza Ambrosio*  
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
CIP: 116544  
JEFE



## ANALISIS GRANULOMETRICO ARENA

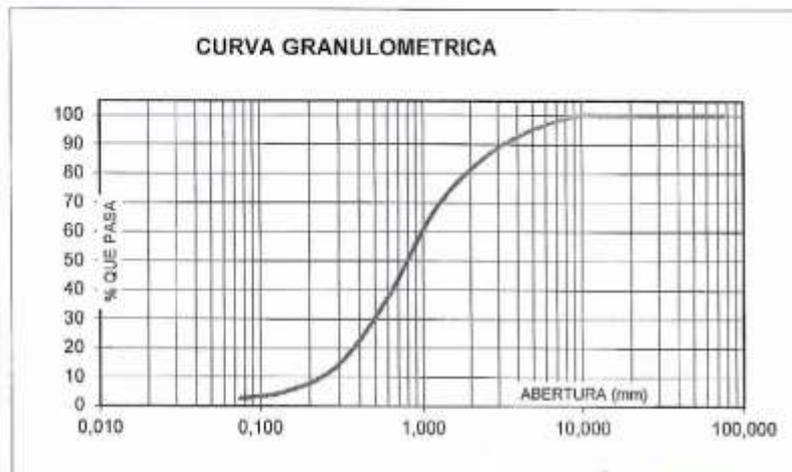
**SOLICITA :** Bach. Velasquez Salazar, Dhayami Mercedita  
**TESIS :** "Resistencia a la Compresion del Concreto, Sustituyendo al Cemento en 8% y 12% por Combinacion de Cal y Ceniza de la Planta de Maiz"  
**LUGAR :** HUARAZ  
**FECHA :** 21/04/2019 **CANTERA :** TACLLAN **MATERIAL :** AGREGADO FINO

PESO SECO INICIAL	3909,2
PESO SECO LAVADO	3810,00
PESO PERDIDO POR LAVADO	99,20

TAMIZ		PESO RETEN.	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA
No	ABERT. (mm.)	(gr)	PARCIAL	ACUMULADO	
3"	75,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2 1/2"	63,000	0,00	0,00	0,00	100,00
2"	50,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,500	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,500	0,00	0,00	0,00	100,00
N° 4	4,750	209,00	5,35	5,35	94,65
N° 8	2,360	387,50	9,91	15,26	84,74
N° 16	1,180	690,50	17,66	32,92	67,08
N° 30	0,600	1162,00	29,72	62,65	37,35
N° 50	0,300	897,50	22,96	85,61	14,39
N° 100	0,150	355,50	9,08	94,70	5,30
N° 200	0,075	108,00	2,76	97,46	2,54
PLATO		99,20	2,54	100,00	0,00
TOTAL		3909,20	100,00		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : n° 4  
 MODULO DE FINEZA : 3,0  
 HUMEDAD : 3,50%

### CURVA GRANULOMETRICA



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 HUARAZ - HUARAZ  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
 ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
 CIP: 116544  
 JEFE



**ANALISIS GRANULOMETRICO GRAVA**

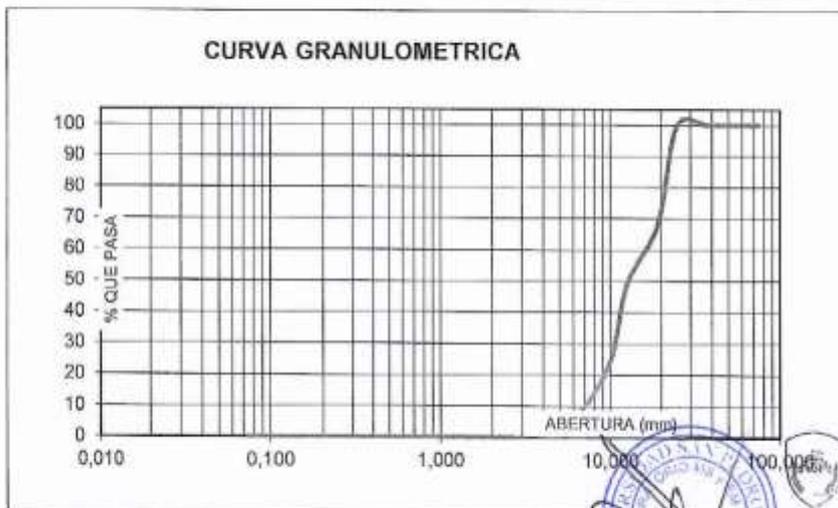
SOLICITA : **Bach. Velasquez Salazar, Dhayami Mercedesita**  
 TESIS : "Resistencia a la Compresion del Concreto, Sustituyendo al Cemento en 8% y 12% por Combinacion de Cal y Ceniza de la Planta de Maiz"  
 LUGAR : HUARAZ  
 FECHA : 21/04/2019 CANTERA : HUARAZ MATERIAL : AGREGADO GRUESO

PESO SECO INICIAL	16650,5
PESO SECO LAVADO	16650,50
PESO PERDIDO POR LAVADO	0,00

TAMIZ	ABERT. (mm.)	PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75,000				
2 1/2"	63,000				
2"	50,000				
1 1/2"	38,100	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,000	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,000	5376,00	32,29	32,29	67,71
1/2"	12,500	3187,50	19,14	51,43	48,57
3/8"	9,500	4535,00	27,24	78,67	21,33
N° 4	4,750	3454,00	20,74	99,41	0,59
N° 8	2,360	98,00	0,59	100,00	0,00
N° 16	1,180	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 30	0,600	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 50	0,300	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 100	0,150	0,00	0,00	100,00	0,00
N° 200	0,075	0,00	0,00	100,00	0,00
PLATO		0,00	0,00	100,00	0,00
TOTAL		16650,50	100,00		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : 3/4"  
 MODULO DE FINEZA : 7,10  
 HUMEDAD : 0,80%

**CURVA GRANULOMETRICA**



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 FILIAL - HUARAZ  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
 ENSAYO DE MATERIALES  
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
 CIP: 116544  
 JEFE





**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION  
DEL AGREGADO GRUESO**

**SOLICITA** : **Bach. Velasquez Salazar, Dhayami Mercedita**  
**TESIS** : "Resistencia a la Compresion del Concreto, Sustituyendo al Cemento en 8% y 12% por Combinacion de Cal y Ceniza de la Planta de Maiz"  
**LUGAR** : HUARAZ  
**CANTERA** : TACLLAN  
**MATERIAL** : **AGREGADO GRUESO**  
**FECHA** : 21/04/2019

**A** : Peso de material saturado superficialmente seco (aire)  
**B** : Peso de material saturado superficialmente seco (agua)  
**C = A - B** : Volumen de masa + volumen de vacios  
**D** : Peso de material seco en el horno  
**E = C - (A - D)** : Volumen de masa

**ABSORCION (%)** :  $((A-D)/D) \times 100$   
**ABS. PROM. (%)** :

**P.e. Bulk (Base Seca)** = D/C  
**P.e. Bulk (Base Saturada)** = A/C  
**P.e. Aparente (Base Seca)** = D/E

<b>1208,0</b>	<b>1141,5</b>	<b>1102,0</b>
<b>761,5</b>	<b>720,0</b>	<b>693,9</b>
<b>446,5</b>	<b>421,5</b>	<b>408,1</b>
<b>1198,0</b>	<b>1130,0</b>	<b>1093,5</b>
<b>436,5</b>	<b>410,0</b>	<b>399,6</b>
<b>0,83</b>	<b>1,02</b>	<b>0,78</b>
<b>0,88</b>		

**PROMEDIO**

<b>2,68</b>	<b>2,68</b>	<b>2,68</b>
<b>2,71</b>	<b>2,71</b>	<b>2,70</b>
<b>2,74</b>	<b>2,76</b>	<b>2,74</b>

**PROMEDIO**

**P.e. Bulk (Base Seca)**  
**P.e. Bulk (Base Saturada)**  
**P.e. Aparente (Base Seca)**

<b>2,68</b>
<b>2,71</b>
<b>2,75</b>



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
 HUARAZ - HUARAZ  
 FACULTAD DE INGENIERIA  
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
 FUNDACIONES

*Elizabeth Maza Ambrosio*  
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
 CIP: 118544  
 JEFE



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

## PESOS UNITARIOS

**SOLICITA :** Bach. Velasquez Salazar, Dhayami Mercedita  
**TESIS :** "Resistencia a la Compresion del Concreto, Sustituyendo al Cemento en 8% y 12% por Combinacion de Cal y Ceniza de la Planta de Maiz"  
**LUGAR :** HUARAZ  
**CANTERA :** TACLLAN  
**MATERIAL :** AGREGADO FINO  
**FECHA :** 21/04/2019

### PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7945	7940	7915
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4525	4520	4495
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1630	1628	1619
<b>Peso unitario prom.</b>	1626 Kg/m <sup>3</sup>		

### PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	8225	8220	8205
Peso de molde	3420	3420	3420
Peso de muestra	4805	4800	4785
Volumen de molde	2776	2776	2776
Peso unitario	1731	1729	1724
<b>Peso unitario prom.</b>	1728 Kg/m <sup>3</sup>		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SÓLIDOS Y  
RESISTENCIA DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
CIP. 116544  
JEFE



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

## PESOS UNITARIOS

**SOLICITA :** Bach. Velasquez Salazar, Dhayami Mercedita  
**TESIS :** "Resistencia a la Compresion del Concreto, Sustituyendo al Cemento en 8% y 12% por Combinacion de Cal y Ceniza de la Planta de Maiz"  
**LUGAR :** HUARAZ  
**CANTERA :** TACLLAN  
**MATERIAL :** AGREGADO GRUESO  
**FECHA :** 21/04/2019

### PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	18835	18855	18845
Peso de molde	5220	5220	5220
Peso de muestra	13615	13635	13625
Volumen de molde	9341	9341	9341
Peso unitario	1458	1460	1459
<b>Peso unitario prom.</b>	<b>1459 Kg/m3</b>		

### PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	19650	19665	19658
Peso de molde	5220	5220	5220
Peso de muestra	14430	14445	14438
Volumen de molde	9341	9341	9341
Peso unitario	1545	1546	1546
<b>Peso unitario prom.</b>	<b>1546 Kg/m3</b>		



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FILIAL - HUARAZ  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MATERIALES DE SUELOS Y  
ENGRANAJES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
CIP: 116544  
JEFE



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : Bach. VELASQUEZ SALAZAR Dhayami Mercedita

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO , SUSTITUYENDO AL CEMENTO EN 8% Y 12% POR COMBINACION DE CAL Y CENIZA DE LA PLANTA DE MAIZ.

FECHA: 24/04/2019

F'c : 210 kg/cm<sup>2</sup>

	TESTIGO	PROGRESIVA	SLUMP	FECHA		EDAD	FC	FC/F'c
Nº	ELEMENTO	KM.	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm <sup>2</sup>	(%)
1	CONCRETO PATRON	-	3	26/03/2019	02/04/2019	7	163,9	78,0
2	CONCRETO PATRON	-	3	26/03/2019	02/04/2019	7	157,9	75,2
3	CONCRETO PATRON	-	3	26/03/2019	02/04/2019	7	150,5	71,7
4	CONCRETO PATRON	-	3	26/03/2019	09/04/2019	14	189,0	90,0
5	CONCRETO PATRON	-	3	26/03/2019	09/04/2019	14	182,9	87,1
6	CONCRETO PATRON		3	26/03/2019	09/04/2019	14	195,6	93,1
7	CONCRETO PATRON		3	26/03/2019	23/04/2019	28	210,6	100,3
8	CONCRETO PATRON		3	26/03/2019	23/04/2019	28	210,5	100,2
9	CONCRETO PATRON		3	26/03/2019	23/04/2019	28	209,9	100,0

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma ASTM C-39

OBSERVACIONES : Los testigos fueron elaborados y traídos a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
PERÚ - HUANCA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
ENSAYOS DE MATERIALES  
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
CIP: 116544  
JEFE



**USP**  
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

### ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA: Bachiller: VELASQUEZ SALAZAR Dhayami Mercedita

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO, SUSTITUYENDO AL CEMENTO EN 8% Y 12% POR COMBINACION DE CAL Y CENIZA DE LA PLANTA DE MAIZ.

FECHA: 24/04/2019

F'c: 210 kg/cm<sup>2</sup>

	TESTIGO	PROGRESIVA	SLUMP	FECHA	EDAD	FC	FC/F'c	
Nº	ELEMENTO	KM.	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm <sup>2</sup>	(%)
1	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	02/04/2019	7	198,2	94,4
2	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)	-	3	26/03/2019	02/04/2019	7	204,2	97,2
3	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)	-	3	26/03/2019	02/04/2019	7	192,5	91,7
4	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)	-	3	26/03/2019	09/04/2019	14	228,9	109,0
5	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)	-	3	26/03/2019	09/04/2019	14	227,5	108,3
6	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	09/04/2019	14	229,4	109,3
7	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	23/04/2019	28	244,7	116,5
8	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	23/04/2019	28	243,4	115,9
9	Sustitucion del cemento por la combinacion en 8% (6% de cal y 2% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	23/04/2019	28	246,5	117,4



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
PIURA - PIURA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE MATERIALES Y ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio  
CIP: 116544  
JEFE

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma ASTM C-39

OBSERVACIONES : Los testigos fueron elaborados y traídos a este laboratorio por el interesado.

RECTORADO: Av. José Pardo 194 Chimbote / Perú - Telf.: (043) 483320

CAMPUS UNIVERSITARIA: Urb. Los Pinos Telf.: (043) 483222 / 483617 / 483201 - Av. Bolognesi 421 Telf.: (043) 483810

Nuevo Chimbote Av. Pacifico y Anchoqueta Telf.: (043) 483802 / San Luis Telf.: (043) 483826

OFICINA DE ADMISION: Esq. Aguirre y Espinar - Teléfono.: 043 345899 - www.usanpedro.edu.pe - facebook/ Universidad San Pedro



## ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : **Bachiller: VELASQUEZ SALAZAR Dhayami Mercedita**

TESIS : RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO , SUSTITUYENDO AL CEMENTO EN 8% Y 12% POR COMBINACION DE CAL Y CENIZA DE LA PLANTA DE MAIZ.

FECHA: 24/04/2019

F' C : 210 kg/cm<sup>2</sup>

Nº	TESTIGO ELEMENTO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA MOLDEO		EDAD DIAS	FC Kg/cm <sup>2</sup>	FC/F' C (%)
1	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	02/04/2019	7	141,5	67,4
2	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)	-	3	26/03/2019	02/04/2019	7	142,1	67,7
3	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)	-	3	26/03/2019	02/04/2019	7	148,3	70,6
4	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)	-	3	26/03/2019	09/04/2019	14	157,9	75,2
5	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)	-	3	26/03/2019	09/04/2019	14	161,7	77,0
6	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	09/04/2019	14	158,5	75,5
7	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	23/04/2019	28	183,1	87,2
8	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	23/04/2019	28	188,6	89,8
9	Sustitucion del cemento por la combinacion en 12% (9% de cal y 3% de ceniza de la planta de maiz)		3	26/03/2019	23/04/2019	28	197,3	93,9

ESPECIFICACIONES : El ensayo responde a la norma ASTM C-39

OBSERVACIONES : Los testigos fueron elaborados y traídos a este laboratorio por el interesado.



UNIVERSIDAD SAN PEDRO  
FILIAL - HUARPA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y  
ENSAYO DE MATERIALES  
Ing. Elizabeth Moza Ancochea  
CIP: 116544  
JEFE

## **APENDICE C: ENSAYO DE ROTURA DE PROBETAS**

**APENDICE D: PANEL FOTOGRAFICO**



Visita a la cantera de TACLLAN



cuarteo de material



tamizado de material con la malla N° 04

selección de material para análisis granulométrico



realizando el ensayo de peso unitario



saturación de material para gravedad específica

realizando el ensayo de gravedad específica



ensayo de gravedad específica en finos



RECOLECCION DE LA PLANTA SECA DE MAIZ



RECOLECCION DE LA CENIZA



Pesado de cemento, cal y ceniza para las combinaciones, esto fue realizado el día del vaciado de las probetas.



Llenado de las 27 probetas que conformaron la muestra para la investigación, esto se realizó poniendo en práctica los buenos procesos constructivos.



Ensayo de compresión axial de los testigos de concreto en el Laboratorio de la USP – Huaraz.



Carga axial admitida por uno de los testigos de concreto, carga expresada en unidades de Kilogramos

## ANEXO A: TABLAS PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS POR EL METODO DEL ACI

### ANEXO A.1. TABLA PARA SELECCIÓN DE ASENTAMIENTO

Tabla 2: Selección del Slump - Diseño de mezcla por el método ACI

Tipo de construcción	Asentamiento	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación armados	3.00 Pulg	1.00 Pulg
Cimentaciones simples, cajones y subestructuras de muros	3.00 Pulg	1.00 Pulg
Vigas y muros armados	4.00 Pulg	1.00 Pulg
Columnas de edificios	4.00 Pulg	1.00 Pulg
Losas y pavimentos	3.00 Pulg	1.00 Pulg
Concreto ciclópeo	2.00 Pulg	1.00 Pulg

Fuente: Rivva, L. E. (2013)

### ANEXO A.2. SELECCION DE VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

Tabla 3: Selección de volumen unitario de agua - Diseño de mezcla por el método ACI

ASENTAMIENTO O SLUMP	Agua en lit/m <sup>3</sup> de concreto para los tamaños máximos de agregados y asentamiento indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
<b>CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO</b>								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	<b>205</b>	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	
Cantidad aproximada de aire atrapado en %	3.0%	2.5%	2.0%	1.5%	1.0%	0.5%	0.3%	0.2%

CONCRETO 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	
Promedio para el contenido total de aire en %	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

Fuente: Rivva, L. E. (2013)

#### ANEXO A.3. SELECCION DE RELACION AGUA – CEMENTO

Tabla 4: Selección de relación agua/cemento - Diseño de mezcla por el método ACI

RESISTENCIA  PROMEDIO ( $f'_{cr}$ ) 28 DIAS	RELACION AGUA-CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	-----
400	0.43	-----
350	0.48	0.4
<b>300</b>	<b>0.55</b>	0.46
<b>250</b>	<b>0.62</b>	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: Rivva, L. E. (2013)

#### ANEXO A.4. SELECCION DE PESO DEL AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE CONCRETO

Tabla 5: Selección de peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto -  
Diseño de mezcla por el método ACI

Tamaño máximo nominal del agregado grueso (Pulg)	Volumen de A.Grueso Seco y compactado			
	MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO			
	2.4	2.6	2.8	<b>3</b>
3/8	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	<b>0.6</b>
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.7
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Rivva, L. E. (2013)

## ANEXO B: METODO DEL SISTEMA ANOVA

### Explorar

### Descriptivos

		Estadísti co	Error estándar
T_0	Media	185,6367	15,36130
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	119,5423
		Límite superior	251,7310
Media recortada al 5%		.	
Mediana		189,1700	

	Varianza		707,908	
	Desviación estándar		26,60654	
	Mínimo		157,44	
	Máximo		210,30	
	Rango		52,86	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,587	1,225
	Curtosis		.	.
T_6C_2	Media		223,9233	13,64545
M	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	165,2117	
		Límite superior	282,6350	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		228,6000	
	Varianza		558,595	
	Desviación estándar		23,63461	
	Mínimo		198,30	
	Máximo		244,87	
	Rango		46,57	
	Rango intercuartil		.	

	Asimetría		-,856	1,225
	Curtosis		.	.
M	T_9C_3	Media	164,3367	13,42415
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	106,5772
			Límite superior	222,0961
		Media recortada al 5%	.	
		Mediana	159,3700	
		Varianza	540,623	
		Desviación estándar	23,25131	
		Mínimo	143,97	
		Máximo	189,67	
		Rango	45,70	
		Rango intercuartil	.	
		Asimetría	,917	1,225
		Curtosis	.	.

### Pruebas de normalidad

Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>			Shapiro-Wilk		
co	Estadísti		co	Estadísti	
	gl	Sig.		gl	Sig.

T_0	,219	3	.	,987	3	,780
M T_6C_2	,245	3	.	,971	3	,671
M T_9C_3	,251	3	.	,966	3	,645

a. Corrección de significación de Lilliefors

**T\_0**

## Análisis univariado de varianza

### Prueba de igualdad de Levene de varianzas de error<sup>a</sup>

Variable dependiente: RESISTENCIA

F	df1	df2	Sig.
,024	2	6	,976

Prueba la hipótesis nula que la varianza de error de la variable dependiente es igual entre grupos.<sup>a</sup>

a. Diseño : Intersección + CAL\_C\_MAIZ

### Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: RESISTENCIA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	5470,130 <sup>a</sup>	2	2735,065	4,540	,063
Intersección	329357,384	1	329357,384	546,764	,000
CAL_C_MAIZ	5470,130	2	2735,065	4,540	,063
Error	3614,252	6	602,375		
Total	338441,766	9			
Total corregido	9084,382	8			

a. R al cuadrado = ,602 (R al cuadrado ajustada = ,470)

### Medias marginales estimadas

## CAL\_C\_MAIZ

Variable dependiente: RESISTENCIA

CAL_C_M AIZ	Media	Error estándar	Intervalo de confianza al 95%	
			Límite inferior	Límite superior
0%	185,63 7	14,170	150,964	220,310
8%	223,92 3	14,170	189,250	258,596
12%	164,33 7	14,170	129,664	199,010

UNIANOVA RESISTENCIA BY CAL\_C\_MAIZ DIAS\_CURADO

/METHOD=SSTYPE(3)

/INTERCEPT=INCLUDE

/POSTHOC=CAL\_C\_MAIZ(TUKEY DUNCAN)

/CRITERIA=ALPHA(0.05)

/DESIGN=CAL\_C\_MAIZ DIAS\_CURADO.

### **Análisis univariado de varianza**

## Factores inter-sujetos

		Etiqueta de valor	N
CAL_C_MAIZ	1	0%	3
	2	8%	3
	3	12%	3
DIAS_CURAD O	1	7 DIAS	3
	2	14 DIAS	3
	3	28 DIAS	3

## Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: RESISTENCIA

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	8985,842 <sup>a</sup>	4	2246,461	91,190	,000
Intersección	329357,384	1	329357,384	13369,493	,000
CAL_C_MAIZ	5470,130	2	2735,065	111,024	,000
DIAS_CURAD O	3515,712	2	1757,856	71,356	,001
Error	98,540	4	24,635		
Total	338441,766	9			

Total corregido	9084,382	8			
-----------------	----------	---	--	--	--

a. R al cuadrado = ,989 (R al cuadrado ajustada = ,978)

## Pruebas post hoc

### CAL\_C\_MAIZ

#### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RESISTENCIA

	(I) CAL_C_MAIZ	(J) CAL_C_MAIZ	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
HSD Tukey	0%	8%	-38,2867*	4,05257	,002
		12%	21,3000*	4,05257	,014
	8%	0%	38,2867*	4,05257	,002

		12%	59,5867*	4,05257	,000
	12%	0%	-21,3000*	4,05257	,014
		8%	-59,5867*	4,05257	,000

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: RESISTENCIA

		Intervalo de confianza al 95%			
		(I) CAL_C_MAIZ	(J) CAL_C_MAIZ	Límite inferior	Límite superior
HSD Tukey	0%	8%		-52,7300	-23,8433
		12%		6,8567	35,7433
	8%	0%		23,8433	52,7300
		12%		45,1433	74,0300
	12%	0%		-35,7433	-6,8567
		8%		-74,0300	-45,1433

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 24,635.

\*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05.

### Subconjuntos homogéneos

## RESISTENCIA

	CAL_C_M		Subconjunto		
	AIZ	N	1	2	3
HSD Tukey <sup>a,b</sup>	12%	3	164,33 67		
	0%	3		185,63 67	
	8%	3			223,92 33
	Sig.		1,000	1,000	1,000
Duncan <sup>a,b</sup>	12%	3	164,33 67		
	0%	3		185,63 67	
	8%	3			223,92 33
	Sig.		1,000	1,000	1,000

Se visualizan las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

Se basa en las medias observadas.

El término de error es la media cuadrática(Error) = 24,635.

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

b. Alfa = 0.05.