

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



**Resistencia del concreto con cemento sustituido por la
combinación de cal (en 0%, 10% y 12%) y arcilla (en 0%,
7% y 9%)**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO

ASESOR:

LOPEZ CARRANZA RUBEN

CHIMBOTE - PERÚ

2018

PALABRAS CLAVE

Tema	Concreto con sustitución
Especialidad	Tecnología del concreto

KEY WORDS

Theme	Concrete with replacement
Specialty	Concrete technology

LINEA DE INVESTIGACION

Área	2. Ingeniería y tecnología
Sub – Área	2.1. Ingeniería Civil
Disciplina	Ingeniería de la construcción

TITULO:

**Resistencia del concreto con cemento sustituido por la combinación de cal
(en 0%, 10% y 12%) y arcilla (en 0%, 7% y 9%)**

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo sustituir el cemento por la combinación de cal y arcilla en la preparación del concreto, para ello se realizó 9 combinaciones aleatorias de cemento, cal, y arcilla. La combinación 1 contenía el 100% de cemento, la combinación 2 un 93% de cemento y un 7% de arcilla, la combinación 3 un 91% de cemento y un 9% de arcilla, la combinación 4 un 90% de cemento y un 10% de cal, la combinación 5 un 88% de cemento y un 12% de cal, la combinación 6 un 81% de cemento, un 10% de cal y un 9% de arcilla, la combinación 7 un 83% de cemento, un 10% de cal y un 7% de arcilla, la combinación 8 un 81% de cemento, un 12% de cal y un 7% de arcilla y la combinación 9 un 79% de cemento, un 12% de cal y un 9% de arcilla; todas estas combinaciones presentaron un pH adecuado para ser empleado en la preparación del concreto, pero solo las combinaciones 3, 6 y 8 proporcionaron resistencias cercanas a la resistencia de diseño, siendo el $f'_c=213.58$ Kg/cm², 218.64 Kg/cm² y 206.26 Kg/cm² respectivamente, encontrándose bastante cercanos a la resistencia proporcionada por el concreto patrón que fue de 212.00 Kg/cm².

ABSTRACT

The objective of the present investigation was to replace cement by the combination of lime and clay in the concrete preparation, for which 9 random combinations of cement, lime, and clay were made. The combination 1 contained 100% cement, the combination 2 93% cement and 7% clay, the combination 3 91% cement and 9% clay, the combination 4 90% cement and a 10% lime, the combination 5 88% cement and 12% lime, the combination 6 81% cement, 10% lime and 9% clay, the combination 7 83% cement, 10% lime and 7% clay, the combination 8 81% cement, 12% lime and 7% clay and the combination 9 79% cement, 12% lime and 9% clay; all these combinations presented a suitable pH to be used in the concrete preparation, but only combinations 3, 6 and 8 provided resistances close to the design strength, being the $f'_c = 213.58 \text{ Kg / cm}^2$, 218.64 Kg / cm^2 and 206.26 Kg / cm^2 respectively, being quite close to the resistance provided by the concrete pattern that was 212.00 Kg / cm^2 .

INDICE

Palabras clave	i
Título.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Indice	v
Indice de tablas	vii
Indice de graficos.....	ix
I. Metodologia.....	1
1.1. Antecedentes y fundamentación científica	1
1.2. Justificación de la investigación	20
1.3. Problema.....	20
1.4. Conceptuación y operacionalización de las variables	21
1.5. Hipótesis	22
1.6. Objetivos.....	23
1.7. Metodología.....	24
II. Resultados.....	27
2.1. Diseño de mezcla	27
2.2. Alcalinidad de conglomerantes	30
2.3. Composición química de la cal.....	31
2.4. Composición química de la arcilla	33
2.5. Resistencia a la compresión de testigos.....	34
III. Análisis y discusión	39

3.1. Analisis de las resistencias obtenidas	39
3.2. Analisis de varianza (anova)	48
IV. Conclusiones	54
V. Recomendaciones	56
VI. Referencias bibliograficas.....	57
VII. Agradecimientos.....	58
VIII. Anexos y apendice	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del cemento portland	6
Tabla 2: Clasificación de cales por su contenido de arcilla.....	17
Tabla 3: Clasificación de la cal de acuerdo al tiempo de fraguado	18
Tabla 4: Definición de variable dependiente	21
Tabla 5: Definición de variable independiente.....	22
Tabla 6: Cantidad de materiales para elaboración de testigos experimentales.....	29
Tabla 7: pH de combinaciones experimentales (Cemento, cal, arcilla y combinaciones).....	31
Tabla 8: Composición química de la cal a nivel de óxidos	32
Tabla 9: Composición química de la arcilla a nivel de óxidos.....	33
Tabla 10: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 1	34
Tabla 11: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 2	35
Tabla 12: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 3	35
Tabla 13: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 4	36
Tabla 14: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 5	36
Tabla 15: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 6	36
Tabla 16: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 7	37
Tabla 17: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 8	37
Tabla 18: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 9	38
Tabla 19: Variación de las resistencias a la compresión de las combinaciones experimentales en relación al concreto patrón a los 7 días de curado.....	45
Tabla 20: Variación de las resistencias a la compresión de las combinaciones experimentales en relación al concreto patrón a los 14 días de curado.....	46

Tabla 21: Variación de las resistencias a la compresión de las combinaciones experimentales en relación al concreto patrón a los 21 días de curado	48
Tabla 22: Resistencia a la compresión de los testigos a los 7 días de curado (Kg/cm ²)	49
Tabla 23: Varianza de las resistencias promedio a los 7 días de curado	49
Tabla 24: Análisis de varianza de las resistencias promedio a los 7 días de curado ..	50
Tabla 25: Resistencia a la compresión de los testigos a los 14 días de curado (Kg/cm ²).....	50
Tabla 26: Varianza de las resistencias promedio a los 14 días de curado	51
Tabla 27: Análisis de varianza de las resistencias promedio a los 14 días de curado	51
Tabla 28: Resistencia a la compresión de los testigos a los 28 días de curado (Kg/cm ²).....	52
Tabla 29: Varianza de las resistencias promedio a los 21 días de curado	52
Tabla 30: Análisis de varianza de las resistencias promedio a los 21 días de curado	53
Tabla 31: Selección del Slump - Diseño de mezcla por el método ACI	107
Tabla 32: Selección de volumen unitario de agua - Diseño de mezcla por el método ACI	107
Tabla 33: Selección de relación agua/cemento - Diseño de mezcla por el método ACI	108
Tabla 34: Selección de peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto - Diseño de mezcla por el método ACI	108

INDICE DE GRAFICOS

Grafico 1: Composición básica del concreto	4
Grafico 2: Proceso de fabricación del cemento	7
Grafico 3: Proceso de activación mecánica de la arcilla	14
Grafico 4: Diseño factorial de la investigación	25
Grafico 5: Curva granulométrica del agregado grueso.....	27
Grafico 6: Curva granulométrica del agregado fino.....	28
Grafico 7: Curva de resistencias a la compresión adquiridas por las combinaciones 1, 2 y 3	40
Grafico 8: Curva de resistencias a la compresión adquiridas por las combinaciones 1, 4 y 5	41
Grafico 9: Curva de resistencias a la compresión adquiridas por las combinaciones 1, 6, 7, 8 y 9	43
Grafico 10: Resistencia a la compresión adquirida por las 9 combinaciones experimentales a los 7 días de curado	44
Grafico 11: Resistencia a la compresión adquirida por las 9 combinaciones experimentales a los 14 días de curado	46
Grafico 12: Resistencia a la compresión adquirida por las 9 combinaciones experimentales a los 21 días de curado	47

I. METODOLOGIA

1.1. ANTECEDENTES Y FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICA

1.1.1. ANTECEDENTES

Pozo & Pozo (2014). En su 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 pudo evidenciar que la mayor resistencia a la compresión axial se podría alcanzar 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.

Vásquez (2016). En su investigación titulada “Resistencia en concreto con cemento sustituido en un 5% y 7% por arcilla de Carhuaz-Ancash”, desarrollada en la Universidad San Pedro – Chimbote, tuvo como objetivo determinar la resistencia a la compresión de un concreto $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ cuando se sustituye el cemento en 5% y

7% por arcilla de San Miguel de Aco - Carhuaz –Ancash, esta investigación fue de tipo experimental, para el cual se elaboraron 27 testigos de concreto; 9 del concreto patrón, 9 con el 5% de cemento sustituido por arcilla y 9 con el 7% de cemento sustituido por arcilla. Al sustituirse el cemento en un 5% se obtuvieron resistencias de $f'c=171.57 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=193.68 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=227.01 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días respectivamente y en un 10% se obtuvieron resistencias de $f'c=203.43 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=219.11 \text{ Kg/cm}^2$, $f'c=240.24 \text{ Kg/cm}^2$ a los 7, 14 y 28 días respectivamente. Concluyo que la mayor resistencia a la compresión del concreto se alcanza adicionando arcilla en un 7%, por lo que recomendó su utilización en este porcentaje. En esta investigación claramente se pudo evidenciar que la mayor resistencia a la compresión axial se podría alcanzar adicionando un 7% de arcilla, 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 arcilla en futuras investigaciones.

Chinen (2002). En su investigación titulada “Factibilidad y estudio de las propiedades del concreto de baja resistencia adicionado con cal”, desarrollado en la Universidad Nacional de Ingeniería de la Ciudad de Lima, tuvo como objetivo el estudio de los efectos de la adición de la cal en el comportamiento del concreto tanto en el estado fresco, como en el endurecido en curado húmedo y/o seco, hasta un máximo de 91 días. En esta investigación se evaluó la exudación, asentamiento, fluidez, peso unitario, contenido de aire, tiempo de fragua, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción diametral, resistencia a la flexión, permeabilidad, retracción, resistencia al impacto y resistencia a la corrosión de testigos de concreto elaborado con mezcla patrón de cemento al 100%, mezcla cal-cemento de 10%-90%, con mezcla cal-cemento de 20%-80% y con mezcla cal-cemento de 30%-70%. En esta investigación se determinó que de acuerdo al uso que se le dé al concreto la sustitución de cal por cemento podría variar, es así que para un concreto empleado para la construcción de una cimentación que no esté expuesta a vibración se podría admitir sustituir el 20% del cemento por cal, debido a que en este porcentaje se tiene buenas propiedades de

permeabilidad y resistencia a la corrosión, pero para concretos expuestos a vibración, esfuerzos de tracción diametral y esfuerzos de flexión se estableció como porcentaje óptimo un 10% de cal en lugar de cemento debido a que en este porcentaje se obtenían mejores respuestas ante estas sollicitaciones en comparación al concreto patrón y además de ello presentaba mejores condiciones de trabajabilidad. Esta investigación concluyo que en general el porcentaje óptimo de sustitución de cal por arcilla es del 10%, ya que en este porcentaje se tiene mejor respuesta en todos los parámetros evaluados que el concreto patrón, motivo por el que el autor recomendó su utilización en este porcentaje.

1.1.2. 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 arcilla 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 arcilla.

1.1.3. 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:

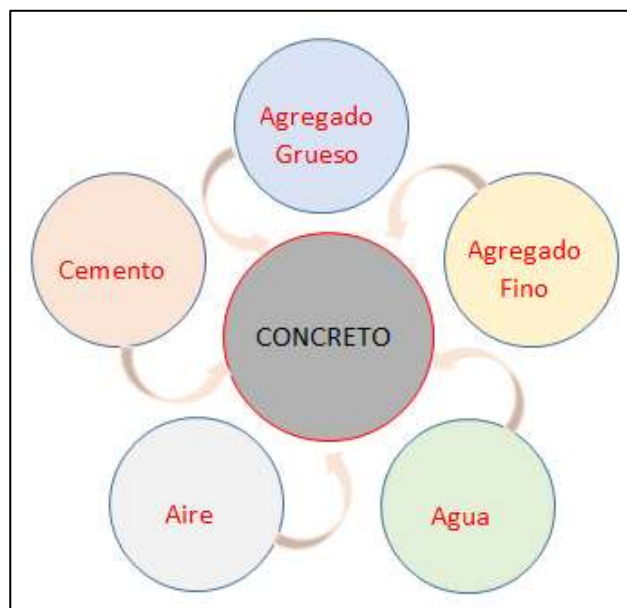


Grafico 1: Composición básica del concreto

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 (CaO), la silica (SiO₂), la alumina (Al₂O₃) y el óxido de hierro (Fe₂O₃), 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

Compuesto	Rango (% Óxidos en peso)
CaO	60 – 67
SiO ₂	17 – 25
Al ₂ O ₃	3 - 8
Fe ₂ O ₃	0.5 – 6
Na ₂ O+K ₂ O	0.2 – 1.3
MgO	0.1 – 4
Cal libre	0 – 2
SO ₃	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 el grafico 02 se observa la secuencia de maneja resumida.

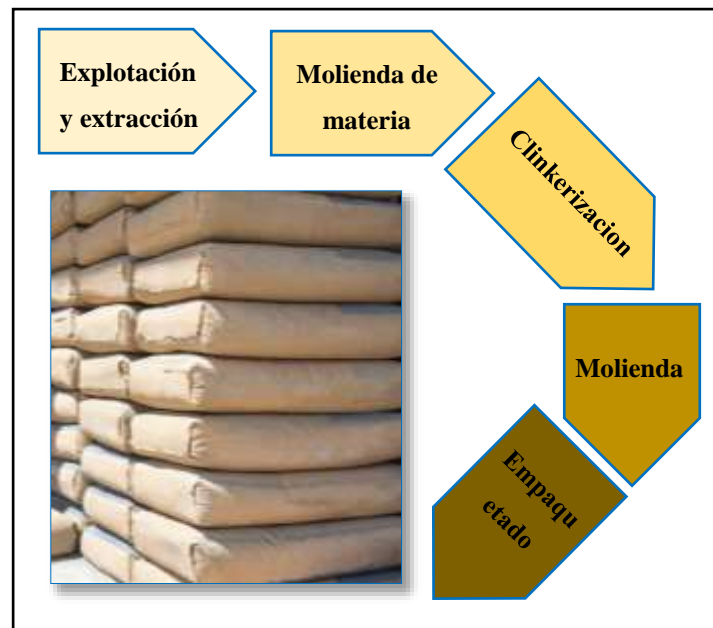


Grafico 2: Proceso de fabricación del cemento

b) **Agregados:** 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.

Fuente: Elaboración propia

- **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: Granulometría, Peso unitario, Peso específico, Contenido de humedad y 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 está 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: Peso Unitario, Peso Específico, Contenido de humedad y 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. El agua empleado en la elaboración del concreto debe cumplir los requisitos de calidad establecidos por la NTP 339.088, principalmente referido a los niveles de pH, estableciendo que los niveles de acidez deberán ser superiores a 7.00 para ser empleado como agua para el concreto.

- 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.

1.1.3.1. ARCILLA

La arcilla, material geológico que en el campo de la ingeniería puede ser aquel que ocasione problemas que dificulten la ejecución de metas de los proyectos o sea aquel que proporciona una gran solución a un determinado problema, para el reconocimiento de las desventajas y ventajas de las arcillas se citan los siguientes ejemplos:

Al tenerse la necesidad de construir la cimentación de una edificación o una estructura de contención es necesario siempre realizar el estudio de mecánica de suelos del suelo de fundación, al encontrarse a través del mencionado estudio un suelo arcilloso al nivel de la profundidad de cimentación será necesario realizar la estabilización del suelo o caso contrario, aumentar la profundidad de cimentación hasta encontrar un estrato estable, pero jamás se podrá construir directamente sobre un suelo arcilloso debido a que es altamente inestable (por presentar cambios volumétricos con la variación del contenido de agua), en estos casos, la ejecución del proyecto con las metas inicialmente previstas implicara mayores costos, ampliando el plazo de ejecución y requiriendo mayores intervenciones técnicas. En este caso en particular la arcilla es un problema.

Por otra parte, en lugares donde sea imposible o complicado la adquisición del cemento, la utilización de la arcilla como material conglomerante ofrece muchas ventajas, ventajas que se pretenden resaltar en la presente investigación, la arcilla por contener el óxido de silicio en un alto porcentaje de su masa puede sustituir hasta cierto punto al cemento, mostrando propiedades algo similares. En este caso la arcilla se presenta como un material muy beneficioso digno de su aprovechamiento. Teniendo en cuenta ello, la utilidad de la arcilla deberá juzgarse de acuerdo a las circunstancias o requerimientos, no estableciéndose definitivamente como bueno o malo.

La arcilla es un material ampliamente utilizado en la industria de la construcción, principalmente en la fabricación de los distintos tipos de ladrillo que se conoce. La definición más conocida de la arcilla es que se trata de una roca sedimentaria compuesta principalmente por silicatos de aluminio, motivo por el que la presente investigación enfocó su atención en ella, pues cabía la posibilidad de que se pueda aumentar las cantidades de óxido bicalcico y tricalcico contenido en el cemento, los cuales son los responsables de brindar resistencia al concreto.

Definir la estructura química de la arcilla de manera general es complejo, pues esta depende del tipo de arcilla que se esté tratando, en el apartado VIII se muestra la composición química de una muestra a nivel de óxidos presentes de la arcilla extraída de la localidad del Distrito de Acopamapa, Provincia de Carhuaz, Departamento de Ancash, arcilla que se usó en los procesos experimentales de la presente investigación.

Cada tipo de arcilla presenta diferentes características que ayudan a diferenciarlos, las características principales, generales y más comunes son las siguientes:

▪ **Propiedades físico – químicas de la arcilla**

Las importantes aplicaciones industriales de este grupo de minerales radican en sus propiedades físico-químicas. Dichas propiedades derivan, principalmente, de:

- Su extremadamente pequeño tamaño de partícula (inferior a 2 mm)
- Su morfología laminar (filosilicatos)
- Las sustituciones isomorfas, que dan lugar a la aparición de carga en las láminas y a la presencia de cationes débilmente ligados en el espacio interlaminar.

Como consecuencia de estos factores, presentan, por una parte, un valor elevado del área superficial y, a la vez, la presencia de una gran cantidad de superficie activa, con

enlaces no saturados. Por ello pueden interaccionar con muy diversas sustancias, en especial compuestos polares, por lo que tienen comportamiento plástico en mezclas arcilla-agua con elevada proporción sólido/líquido y son capaces en algunos casos de hinchar, con el desarrollo de propiedades reológicas en suspensiones acuosas.

Por otra parte, la existencia de carga en las láminas se compensa, como ya se ha citado, con la entrada en el espacio interlaminar de cationes débilmente ligados y con estado variable de hidratación, que pueden ser intercambiados fácilmente mediante la puesta en contacto de la arcilla con una solución saturada en otros cationes, a esta propiedad se la conoce como capacidad de intercambio catiónico y es también la base de multitud de aplicaciones industriales.

En los párrafos siguientes se detallan las propiedades más importantes:

a) Plasticidad: Fernández J. (1962) define la plasticidad de la siguiente manera “es la capacidad que tienen algunos materiales para modificar su forma por acción de una fuerza exterior, subsistiendo tal deformación después de cesar la causa que lo produjo”, en base a esta definición, es necesario conocer cuáles son las propiedades que convierten a un material en plástico, pues no todo lo que nos rodea merece llamarse “material plástico”. La plasticidad de las arcillas y en general de todos los materiales plásticos está definida por los siguientes:

- **Contenido de agua:** Una de las características de la arcilla es que es un material altamente impermeable, es decir, no permite el ingreso de agua hacia su interior fácilmente, pero al estar sometido a la humedad por intervalos de tiempos largos se van formando películas de agua que rodean a sus partículas y desestabilizan su masa, a nivel físico podría entenderse como que la película de agua lubrica las superficies de contacto entre partículas de arcilla y ahí el motivo de que sean fácilmente deformables ante la acción de una carga externa. Se puede entender entonces que mientras mayor sea el contenido de agua, más fácil será deformarlo, pero la cantidad excesiva de agua hará que la masa pierda la capacidad de mantener su deformación una vez cesada la aplicación de la carga y seguirá deformándose

incluso llegando a deformarse sin la aplicación de ninguna carga externa (Solo por acción de la gravedad)

- **Tamaño de las partículas:** Es sabido que los granos que conforman las arcillas son altamente pequeños, es así que según la clasificación AASHTO se considera como arcillas a suelos con granos inferiores a 0.005 mm de diámetro y según la clasificación SUCS menores a 0.002 mm, referenciando ambas clasificaciones a suelos altamente finos que por lo general son suelos netamente cohesivos y por lo tanto plásticos, la plasticidad de la arcilla está definida directamente a esta propiedad, pues la totalidad de los granos se encuentran altamente próximos unos a otros, unidos mediante enlaces altamente rígidos cuando el suelo se encuentra completamente seco, al saturarse, las partículas son rodeadas con una lámina de agua que lubrican la superficie de contacto entre las partículas, produciéndose así la facilidad del deslizamiento de las partículas unas sobre otras ante la aplicación de cargas externas.

- b) **Refractariedad:** La masa de arcilla, al someterse a la acción de altas temperaturas no varía su composición química ni su estructura física, es decir es un material que no se ve afectado por la variación de temperatura (no se dilata ni contrae), las partículas son igual de estables a todos los niveles de temperatura manteniendo los mismos enlaces químicos iniciales. Por lo general se considera que con el aumento de temperatura se le otorga rigidez y resistencia a la masa alterando la composición química, esto es totalmente incierto, pues lo que ocasiona el aumento de temperatura es la expulsión total de la cantidad de agua contenida en la masa, convirtiéndolo a través de ello más sólida y compacta. El cambio volumétrico de la arcilla principalmente se produce por la incorporación de agua que se coloca como una lámina delgada ente partícula y partícula, que al ser expulsados dejan vacíos que inmediatamente son ocupados por las partículas de arcilla que originalmente se encontraban en ese lugar.

- c) **Impermeabilidad:** Esta propiedad está referida a la capacidad de obstruir el paso o no permitir el ingreso del agua a través de una masa de arcilla. El calificativo de “impermeable” se le atribuye debido al tamaño de los granos que se encuentran altamente próximos unos a otros, teniendo un porcentaje de vacíos casi nulo.
- d) **Tixotropía:** La tixotropía se define como el fenómeno consistente en la pérdida de resistencia de un coloide, al amasarlo, y su posterior recuperación con el tiempo. Las arcillas tixotrópicas cuando son amasadas se convierten en un verdadero líquido. Si, a continuación, se las deja en reposo recuperan la cohesión, así como el comportamiento sólido. Para que una arcilla tixotrópica muestre este especial comportamiento deberá poseer un contenido en agua próximo a su límite líquido. Por el contrario, en torno a su límite plástico no existe posibilidad de comportamiento
- e) **Superficie específica:** La superficie específica o área superficial de una arcilla se define como el área de la superficie externa más el área de la superficie interna (en el caso de que esta exista) de las partículas constituyentes, por unidad de masa, expresada en m^2/g .

Las arcillas poseen una elevada superficie específica, muy importante para ciertos usos industriales en los que la interacción sólido-fluido depende directamente de esta propiedad.

A continuación se muestran algunos ejemplos de superficies específicas de arcillas:

- Caolinita de elevada cristalinidad hasta 15 m^2/g
- Caolinita de baja cristalinidad hasta 50 m^2/g
- Halloisita hasta 60 m^2/g
- Illita hasta 50 m^2/g
- Montmorillonita 80-300 m^2/g
- Sepiolita 100-240 m^2/g
- Paligorskita 100-200 m^2/g

▪ **Proceso de activación de la arcilla**

Para ser empleado en la preparación del concreto, sustituyendo al cemento en los porcentajes establecidos para el desarrollo de la presente investigación, la arcilla se activó por medios mecánicos, es decir mediante la pulverización manual y el tamizado por la malla N°200, este estuvo libre de materia orgánica u otro similar que altere el proceso de hidratación del cemento posterior a la colocación del concreto. En el siguiente grafico se describe el proceso de activación de la arcilla.

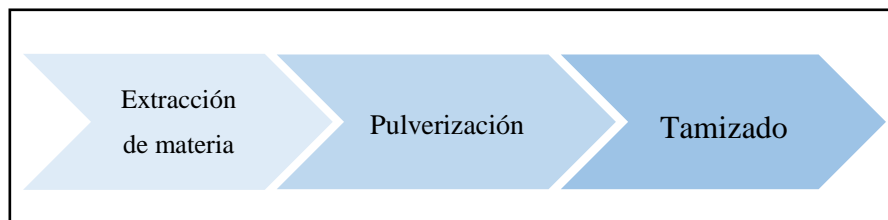


Grafico 3: Proceso de activación mecánica de la arcilla

Fuente: Elaboración propia

1.1.3.2. CAL

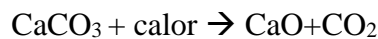
La cal viva es una sustancia alcalina blanca, ligera y caustica, que en contacto con el agua se hidrata y desprende calor de manera casi instantánea, desde tiempos remotos se viene empleando como conglomerante en la construcción y estabilizador de suelos húmedos en la construcción de vías terrestres. El compuesto químico del que se constituye la cal viva es básicamente de óxido de calcio, siendo este el principal motivo de buscar el reemplazo del cemento en la elaboración del concreto por este material, pues cabe la posibilidad de incrementar las cantidades de silicato tricalcico y dicalcico contenidos en una muestra de cemento.

▪ **Proceso de fabricación**

La fabricación de la cal es un proceso simple que puede practicarse artesanal e industrialmente; en ambos se reconocen las siguientes fases:

a) **Extracción de la piedra caliza:** Siendo necesario investigar la calidad de ésta, se procede a tomar una muestra representativa y se disuelve en ácido clorhídrico, determinándose el porcentaje de arena y arcilla que la acompaña.

b) **Calcinación:** El objeto de la calcinación es la eliminación del agua, que tiene la piedra caliza al estar a la intemperie, y seguidamente el CO₂ Entre los 150 a 450°C de temperatura del horno para la cocción se evapora el agua higroscópica contenida en los terrones de la piedra caliza. Cuando pasa los 450°C comienza la descomposición del carbonato de calcio hasta los 600°C y la arcilla se descompone cuando la temperatura del horno se halla comprendida entre los 800°C a 900°C. La reacción que se produce en esta etapa es la siguiente:



c) **Apagado:** La cal es llevada a balsas de apagado, en las que la masa es bañada por aspersión con una cantidad de agua que es aproximadamente la décima parte del peso de la cal. La reacción que se produce en esta etapa es la siguiente:



d) **Clasificación y cernido:** Se debe comprobar que la cal procesada cumpla con los requisitos de granulometría que indica la Norma Técnica Peruana 339.002. El residuo retenido sobre el tamiz N° 30 no podrá ser mayor de 0.5% y el residuo en el tamiz N° 200 no podrá ser mayor del 15%.

▪ **Clasificación y propiedades de la cal**

a) **Cales aéreas:** Son aquellas que fraguan al combinarse con anhídrido carbónico del ambiente. También se les conoce con el nombre de cal viva o hidratada. Estas a su vez se divide en las siguientes:

- Cal altamente cálcica: Es la que se obtiene a partir de calizas con alto contenido de carbonato de calcio CaCO_3
- Cal cálcica: Es la que se obtiene con la calcinación de calizas con menor cantidad de carbonato de calcio que la anterior.
- Cal dolomítica: Es la que se obtiene a partir de calizas dolomíticas con alto contenido de carbonato de magnesio MgCO_3

b) Cales hidráulicas: Son aquellas que se obtienen a partir de calizas arcillosas por calcinación inferior a la de principio de fusión y que después de agregarles agua y dejarlas reposar un tiempo suficientemente largo al aire, fraguan bajo el agua. Se encuentra en el mercado con el nombre de cales hidráulicas hidratadas. Se clasifican en:

- Cal hidráulica 10: Es la que su fraguado produce en parte por carbonatación y en parte por reacciones químicas complejas. Debe alcanzar una resistencia a la compresión mayor a 10 Kg/cm^2 , según clasificación de la Norma (NTP 24: 05-003)
- Cal hidráulica 20: Es la que se obtiene a partir de calizas arcillosas por calcinación a temperatura inferior a la de principio de fusión, con o sin adición de materias puzolánicas. Es la que puede ser obtenida por la mezcla de productos de calcinación de calizas con alto contenido de carbonato de calcio (CaCO_3) y calizas arcillosas a las que se puede agregar materias puzolánicas. Debe alcanzar una resistencia a la compresión igual o superior a 20 Kg/cm^2
- Cal hidráulica 50: Es la que se obtiene a partir de calizas arcillosas por calcinación a temperatura inferior a la de principio de fusión con o sin adición de materias puzolánicas. Puede ser obtenida por la mezcla de los productos de calcinación de calizas con alto contenido de Carbonato de Calcio (CaCO_3) y calizas arcillosas a las que se puede agregar materias puzolánicas. Debe alcanzar una resistencia igual o superior a 50 Kg/cm^2

c) **Clasificación por su hidraulicidad:** La hidraulicidad de la cal es generada por la relación que existe entre la arcilla, alúmina, sílice y oxido de calcio. La fórmula que se muestra a continuación fue propuesta por Vicat:

$$I = (\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{CaO})$$

Donde:

SiO ₂	Silice
Al ₂ O ₃	Alumina
CaO	Oxido de cal

De acuerdo a la fórmula ya expuesta Durand Claye pudo establecer el siguiente cuadro de tipos de cales e índices de hidraulicidad:

Tabla 2: Clasificación de cales por su contenido de arcilla

Tipo de cal	Índice de		
	hidraulicidad (I)	Arcilla %	Caliza %
Altamente cálcica	0.00 – 0.05	0.00 - 5.00	100 a 95
Cálcica	0.05 – 0.10	5.00 - 5.30	95 a 94.70
Hidráulica 10	0.10 – 0.16	5.30 – 8.20	94.70 – 91.80
Hidráulica 20	0.16 – 0.31	8.20 – 14.80	91.80 – 85.20
Hidráulica 50	0.31 – 0.50	14.80 - 21.80	85.20 – 78.00
Cemento			
De fraguado lento (Portland)	0.50 - 0.65	21.80 - 26.70	78.00 - 73.30
De fraguado rápido	0.65 – 1.20	26.70 – 40.00	73.30 – 60.00
Dolomítica	1.20 – 0.30	40.00 – 62.80	60.00 – 37.40
Puzolana	Más de 3.00	Más de 62.60	Menos de 37.4

Fuente: Ferrer, R. (1984). Cales, Cementos y hormigones

d) Clasificación de acuerdo al tiempo de fraguado: El fraguado se basa fundamentalmente en una serie de reacciones químicas complejas entre el óxido de calcio, sílice, alúmina, óxidos de hierro y agua.

Tabla 3: Clasificación de la cal de acuerdo al tiempo de fraguado

	Material	Tiempo de fraguado
Cales ordinarias	Altamente cálcica	No fraguan en el agua,
	Cálcica	solo fraguan en el aire
	Dolomítica	seco
Cales hidráulicas	Hidráulica 10	15 a 30 días
	Hidráulica 20	10 a 15 días
	Hidráulica 50	2 a 10 días
Cemento	Lento (Portland)	6 a 12 horas
	Rápido	5 a 20 minutos

Fuente: Ferrer, R. (1984). Cales, Cementos y hormigones

▪ **Aplicación de la cal viva en la industria de la construcción**

- a) **En morteros de albañilería:** Posibilita mayores resistencias, mejor adherencia y ayuda a las construcciones a ser térmicas e impermeables.
- b) **Para impermeabilizar:** Sus propiedades de absorción y retención de agua y por estar formadas por pequeñísimas partículas penetra mejor en todos los vacíos de tal manera que evita el paso del agua.
- c) **En pintura:** Se puede elaborar una pintura a base de cal, sal de cocina y alumbre, los resultados son notorios en cuanto a costos de esta elaboración se logra una pintura que se incorpora como ninguna otra a la superficie, es higiénica, de apariencia atractiva y durable.
- d) **Estabilización de suelos:** la cal es el estabilizador de suelos más utilizado por su versatilidad en su manejo, aplicación y bajo costo. Un suelo tratado con cal

modifica las propiedades físicas del suelo de manera permanente, disminuye el índice plástico y la contracción lineal y la resistencia a la compresión.

- e) **En mezclas asfálticas:** Con frecuencia se utiliza cal hidratada en las mezclas calientes de asfalto, la cual funciona como agente antidesgarramiento, rellenedor y modificador. Además reduce la sensibilidad hacia la humedad, también incrementa el endurecimiento inicial, contribuyendo de esta manera a minimizar las marcas de las rodadas y reducir el envejecimiento prematuro del asfalto (evita la oxidación).

▪ **Influencia de la cal en el comportamiento del concreto**

De acuerdo a la información obtenida de las investigaciones anteriores, cuando la cal se emplea en reemplazo parcial del cemento se obtendría los siguientes cambios y/o modificaciones en las propiedades físicas del concreto:

- a) **Trabajabilidad:** Debido al poder de retención de agua que posee la cal en la mezcla fresca es que hace al concreto más cohesivo y con mayor trabajabilidad.
- b) **Exudación:** La cal no permite el sangrado del concreto porque realiza una mejor mixtura de sus componentes.
- c) **Permeabilidad:** La adición de cal en el concreto produce un aumento de porcentaje finos y esto mejora el acomodo de partículas, por lo tanto produce una disminución de su permeabilidad.
- d) **Tiempo de Fraguado:** Por la retención del agua de la mezcla, se produce un retardo en el proceso de fraguado debido a que la cal brinda de manera paulatina el agua que necesita el cemento para adquirir resistencia.
- e) **Resistencia a la Compresión:** El aumento de la resistencia de la compresión se debe realizar de manera lenta en comparación con la muestra patrón.

Adicionalmente a las ventajas arriba mencionadas es necesario indicar los beneficios económicos que resulta de la reducción de la mano de obra debido al mejoramiento de la trabajabilidad y acabado del concreto.

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1. 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.

1.2.2. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Para la elaboración de un concreto estructural, normalmente se requieren en promedio de 8 a 9 bolsas de cemento por metro cúbico, motivo por el que el costo de elaboración del concreto está principalmente en función al costo del cemento. La presente investigación pretende sustituir de 1.2 a 1.3 bolsas de cemento por unidad de metro cúbico de concreto por cal y arcilla y demostrar que no se estaría afectando las propiedades físicas y mecánicas del concreto patrón 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.

1.3. 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 preparación del concreto, por lo que en la búsqueda 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 callejón de Huaylas, se establece que la combinación de cal y arcilla por su alto contenido de óxido de calcio y oxido de silicio respectivamente pueden incrementar el silicato bicalcico y tricalcico contenido en el cemento portland tipo I, incrementando así la capacidad de adquirir mayores resistencias a tempranas edades. Es así que para evaluar la factibilidad de la sustitución del cemento por la combinación de cal y arcilla se establece la siguiente pregunta;

¿Cuál es la combinación de cal y arcilla que al sustituir al cemento en un porcentaje determinado, proporciona al concreto una misma o mejor resistencia que el concreto patrón?

1.4. CONCEPTUACIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

1.4.1. VARIABLE DEPENDIENTE

Tabla 4: Definición de variable dependiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador
Resistencia a la compresión del concreto	Es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por el concreto sin romperse	Es el esfuerzo axial máximo que puede soportar un testigo de concreto bajo una carga.	Kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia

1.4.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tabla 5: Definición de variable independiente

Variable	Definición operacional	Indicador
Combinaciones de cal y arcilla	Sustitución del cemento por la combinación de cal y arcilla para la obtención de un concreto de $f'c= 210 \text{ Kg/cm}^2$	Combinación 1 (0% cal y 0% arcilla), Combinación 2 (0% cal y 7% arcilla), Combinación 3 (0% cal y 9% arcilla), Combinación 4 (10% cal y 0% arcilla), Combinación 5 (10% cal y 7% arcilla), Combinación 6 (10% cal y 9% arcilla), Combinación 7 (12% cal y 0% arcilla), Combinación 8 (12% cal y 7% arcilla), Combinación 9 (12% cal y 9% arcilla)

Fuente: Elaboración propia

1.5. HIPÓTESIS

Si se sustituye al cemento en la preparación del concreto por una combinación de cal en (0%, 10% y 12%) y arcilla en (0%, 7% y 9%), se obtendrá una dosificación adecuada que mantenga o mejore la resistencia a la compresión del concreto de diseño.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Obtener la combinación adecuada de cal y arcilla que sustituida al cemento en determinado porcentaje, mantenga o mejore la resistencia a la compresión del concreto de diseño.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la extracción y activación mecánica de la arcilla para ser empleado en la sustitución del cemento.
- Determinar el pH de la arcilla, cal y las combinaciones de cal, arcilla y cemento empleados para la preparación de los testigos de concreto.
- Determinar la composición química expresada como óxidos de la Cal producida en la cantera de la Provincia de Carhuaz a través del método de la espectroscopia de fluorescencia de rayos X
- Determinar la composición química expresada como óxidos de la Arcilla extraída del Distrito de Acopampa, Provincia de Carhuaz, Departamento de Ancash, a través del método de la espectroscopia de fluorescencia de rayos X
- Realizar el diseño de mezcla para un concreto de $f'c=210$ Kg/cm² por el método del ACI y determinar las proporciones requeridas de agregado grueso, agregado fino, agua y cemento del concreto patrón, para posteriormente realizar la sustitución del cemento por la combinación de cal y arcilla en los porcentajes establecidos.
- Determinar la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días de los especímenes de concreto elaborado con las 9 combinaciones de cemento, cal y arcilla.
- Determinar la combinación óptima de cemento, cal y arcilla que proporcione un concreto con una resistencia igual o cercana a la resistencia de diseño.
- Realizar la comparación de las resistencias obtenidas mediante el análisis de varianza (ANOVA)

1.7. METODOLOGÍA

1.7.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

1.7.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Es 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 es también 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

1.7.1.2. 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 determinó el resultado de la resistencia a la compresión en el diseño de mezcla de concreto en donde se comparó 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 10% y 12% y arcilla en 7% y 9%, 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 ejecutaron en el laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad San Pedro - Huaraz, observando y debatiendo los resultados con técnicos profesionales conocedores del tema.

El diseño establecido para la evaluación de la factibilidad de sustituir al cemento por la combinación de cal y arcilla fue del tipo factorial, en los siguientes esquemas se detalla las combinaciones realizadas:

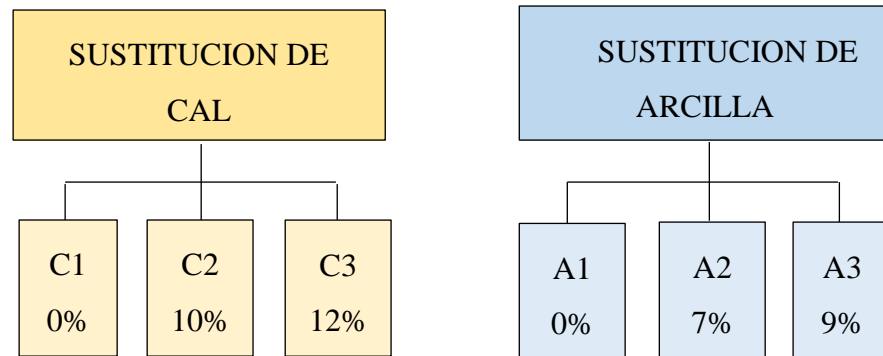


Grafico 4: Diseño factorial de la investigación

Fuente: Elaboración propia

Donde:

- C1: 0% Cal
- C2: 10% Cal
- C3: 12% Cal
- A1: 0% Arcilla
- A2: 7% Arcilla
- A3: 9% Arcilla

Los porcentajes de cal y arcilla están en función a la cantidad de cemento en peso determinado mediante el diseño de mezcla.

1.7.1.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

- **Población:** conjunto de probetas cilíndricas con un diseño de mezcla $f'c=210$ Kg/cm².
- **Muestra:** está constituida por 81 probetas de concreto elaborado con las siguientes combinaciones de cemento, cal y arcilla:

Combinación 1: 100% de cemento + 0% de cal + 0% arcilla

Combinación 2: 93% de cemento + 0% de cal + 7% arcilla

Combinación 3: 91% de cemento + 0% de cal + 9% arcilla

Combinación 4: 90% de cemento + 10% de cal + 0% arcilla

Combinación 5: 88% de cemento + 12% de cal + 0% arcilla

Combinación 6: 81% de cemento + 10% de cal + 9% arcilla

Combinación 7: 83% de cemento + 10% de cal + 7% arcilla

Combinación 8: 81% de cemento + 12% de cal + 7% arcilla

Combinación 9: 79% de cemento + 12% de cal + 9% arcilla

II. RESULTADOS

2.1. 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:

2.1.1. PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO

- a) Contenido de Humedad: 1.11%, correspondiente al momento de la preparación del concreto.
- b) Porcentaje de absorción: 0.90%
- c) Peso específico de masa: 2.64 T/m^3
- d) Peso unitario suelto: 1527 Kg/m^3
- e) Peso unitario compactado: 1646 Kg/m^3
- f) Granulometría:

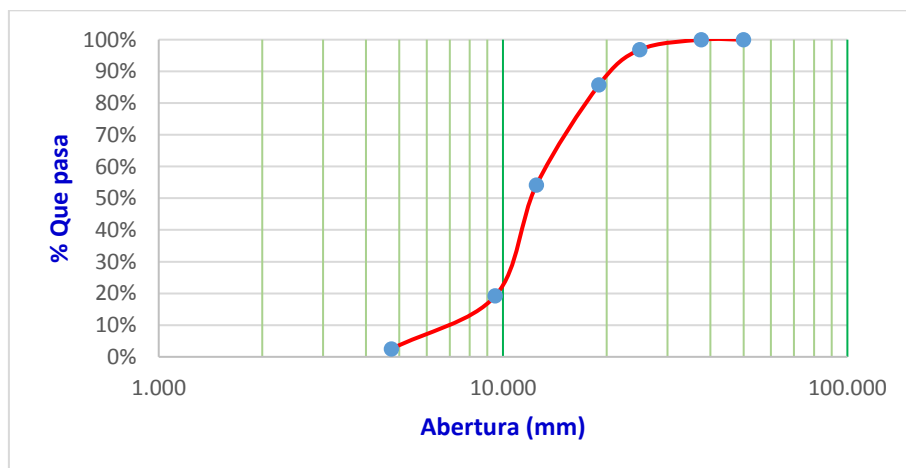


Gráfico 5: Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: Elaboración propia

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

2.1.2. PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

- a) Contenido de Humedad: 4.93%, correspondiente al momento de la preparación del concreto.
- b) Porcentaje de absorción: 1.48%
- c) Peso específico de masa: 2.56 T/m³
- d) Peso unitario suelto: 1577 Kg/m³
- e) Peso unitario compactado: 1757 Kg/m³
- f) Granulometría:

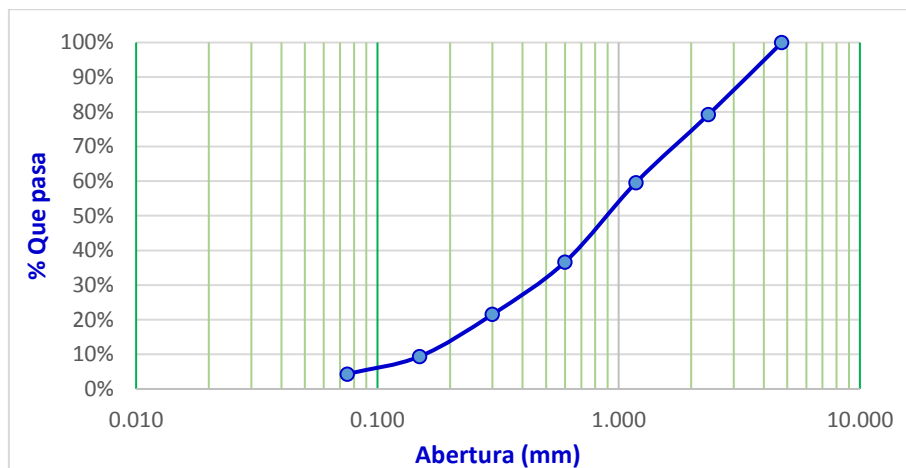


Grafico 6: Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia

El módulo de fineza determinado mediante el análisis granulométrico es de 3.06, debido a que para el diseño de mezcla por el método del ACI, la tabla para determinar el peso del agregado grueso admite valores de hasta 3.00 para el módulo de fineza del agregado fino, se considerara como 3.00 por ser mínima la variación.

2.1.3. 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/cm², es el que se muestra a continuación:

Cemento:	303.25 Kg/m ³
Agua:	176.13 L/m ³
Agregado fino húmedo:	817.03 Kg/m ³
Agregado grueso húmedo:	998.37 Kg/m ³

2.1.4. CANTIDAD DE MATERIALES PARA LOS TESTIGOS EXPERIMENTALES

Las cantidades de cemento, agregado grueso, agregado fino y agua para la preparación del concreto fueron determinados mediante el diseño de mezcla por el método del ACI, a partir de ello se pudo determinar las cantidades de cal y arcilla de acuerdo a los porcentajes de sustitución establecidos mediante cálculos aritméticos simples, los cálculos correspondientes al diseño de mezcla se anexan en el apartado VIII del presente.

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

Tabla 6: Cantidad de materiales para elaboración de testigos experimentales

Combinaciones	A. grueso (Kg)	A. fino (Kg)	Agua (L)	Cemento (Kg)	Cal (Kg)	Arcilla (kg)
Comb 1: cal (0%) + arcilla (0%)	5.29	4.33	0.93	1.61	0.00	0.00
Comb 2: cal (0%) + arcilla (7%)	5.29	4.33	0.93	1.50	0.00	0.11
Comb 3: cal (0%) + arcilla (9%)	5.29	4.33	0.93	1.46	0.00	0.14

Comb 4: cal (10%) + arcilla (0%)	5.29	4.33	0.93	1.45	0.16	0.00
Comb 5: cal (12%) + arcilla (0%)	5.29	4.33	0.93	1.41	0.19	0.00
Comb 6: cal (10%) + arcilla (9%)	5.29	4.33	0.93	1.30	0.16	0.14
Comb 7: cal (10%) + arcilla (7%)	5.29	4.33	0.93	1.33	0.16	0.11
Comb 8: cal (12%) + arcilla (7%)	5.29	4.33	0.93	1.30	0.19	0.11
Comb 9: cal (12%) + arcilla (9%)	5.29	4.33	0.93	1.27	0.19	0.14

Fuente: Elaboración propia

Las cantidades que se muestran en el cuadro anterior son por unidad de probeta, el peso del agregado grueso y fino es incluido el contenido de humedad.

2.2. ALCALINIDAD DE CONGLOMERANTES

Habiéndose realizado las pruebas de laboratorio se determinó que todas las combinaciones establecidas presentaban la alcalinidad mínima requerida para ser empleado en la elaboración del concreto, la combinación de conglomerantes que mayor alcalinidad presentó fue la combinación 9, alcanzando esta un valor de 12.30.

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

Tabla 7: pH de combinaciones experimentales (Cemento, cal, arcilla y combinaciones)

Muestra	pH	Calificación
Cemento	12.13	Extremadamente Alcalino
Arcilla	7.51	Ligeramente Alcalino
Cal	11.74	Extremadamente Alcalino
Cemento + 7% Arcilla	12.10	Extremadamente Alcalino
Cemento + 9% Arcilla	12.08	Extremadamente Alcalino
Cemento + 10% Cal	12.16	Extremadamente Alcalino
Cemento + 12% Cal	12.11	Extremadamente Alcalino
Cemento + 10% Cal + 9% Arcilla	12.28	Extremadamente Alcalino
Cemento + 10% Cal + 7% Arcilla	12.26	Extremadamente Alcalino
Cemento + 12% Cal + 7% Arcilla	12.27	Extremadamente Alcalino
Cemento + 12% Cal + 9% Arcilla	12.30	Extremadamente Alcalino

Fuente: Ensayo de pH – Lab. UNSAM

2.3. COMPOSICION QUIMICA DE LA CAL

Para la determinación de la composición química de la cal 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 cal, los aspectos evaluados fueron las cantidades de Óxidos de Calcio y Silicio, los cuales se encontraron en porcentajes de 71.267% y 4.887% respectivamente.

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

Tabla 8: Composición química de la cal a nivel de óxidos

Oxido	Descripción	Concentración % masa
Al ₂ O ₃	Oxido de aluminio	5.799
SiO ₂	Oxido de silicio	4.887
SO ₂	Dióxido de azufre	0.451
K ₂ O	Oxido de potasio	0.152
CaO	Oxido de calcio	71.267
TiO	Oxido de titanio	0.234
MnO	Oxido de manganeso	0.017
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro	0.412
Ni ₂ O ₃	Oxido de níquel	0.008
CuO	Oxido de cobre	0.003
ZnO	Óxido de zinc	0.007
As ₂ O ₃	Trióxido de arsénico	0.018
SrO	Oxido de estroncio	0.224
ZrO ₂	Dióxido de zirconio	0.008

Fuente: Ensayo FRXDE-UNMSM

De la tabla anterior se deduce que la cantidad de óxido de calcio presente en la muestra analizada es el suficiente para catalogar a la cal como un material “cementante”, el cual, al sustituir al cemento en 10% y 12% en la preparación de concretos estructurales y no estructurales proporcionara mejoras en la resistencia a la compresión y proporcionara al concreto altas resistencias a tempranas edades de curado.

2.4. COMPOSICION QUIMICA DE LA ARCILLA

Para la determinación de la composición química de la arcilla, al igual que la cal, 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 cal, los aspectos evaluados fueron las cantidades de Óxidos de Silicio y Calcio, los cuales se encontraron en porcentajes de 63.930% y 1.272% respectivamente.

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

Tabla 9: Composición química de la arcilla a nivel de óxidos

Oxido	Descripción	Concentración % masa
Al ₂ O ₃	Oxido de aluminio	17.061
SiO ₂	Oxido de silicio	63.930
SO ₂	Dióxido de azufre	0.060
K ₂ O	Oxido de potasio	2.882
CaO	Oxido de calcio	1.272
TiO	Oxido de titanio	0.783
Cr ₂ O ₃	Oxido de cromo	0.006
MnO	Oxido de manganeso	0.065
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro	3.863
Ni ₂ O ₃	Oxido de níquel	0.001
CuO	Oxido de cobre	0.002
ZnO	Óxido de zinc	0.031
Ga ₂ O ₃	Oxido de galio	0.011
As ₂ O ₃	Trióxido de arsénico	0.010

Rb ₂ O	Oxido de rubidio	0.007
SrO	Oxido de estroncio	0.029
Y ₂ O ₃	Oxido de itrio	0.005
ZrO ₂	Dióxido de zirconio	0.026

Fuente: Ensayo FRXDE-UNMSM

De la tabla anterior se deduce que la cantidad de óxido de silicio presente en la muestra analizada es el suficiente para catalogar a la arcilla como un material “puzolánico”, el cual, al sustituir al cemento en 7% y 9% en la preparación de concretos estructurales y no estructurales proporcionara mejoras en la resistencia a la compresión.

2.5. 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 $f'c=212.00 \text{ Kg/cm}^2$, siendo con ello un 0.95% mayor a lo proyectado. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 10: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 1

Descripción	Edad (Días)	f'c Obtenido (Kg/cm ²)
Comb 1: Cal (0%) + Arcilla (0%)	7	161.61
	14	190.42
	28	212.00

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- b) Combinación 2: Elaborado con el 93% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 7% de arcilla que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia $f^c=226.81 \text{ Kg/cm}^2$, siendo 14.81 Kg/cm^2 mayor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 11: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 2

Descripción	Edad (Días)	f^c Obtenido (Kg/cm²)
Comb 2: Cal (0%) + Arcilla (7%)	7	163.82
	14	200.58
	28	226.81

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- c) Combinación 3: Elaborado con el 91% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 9% de arcilla que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia $f^c=213.58 \text{ Kg/cm}^2$, siendo 1.58 Kg/cm^2 mayor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 12: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 3

Descripción	Edad (Días)	f^c Obtenido (Kg/cm²)
Comb 3: Cal (0%) + Arcilla (9%)	7	162.10
	14	200.58
	28	213.58

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- d) Combinación 4: Elaborado con el 90% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 10% de Cal que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia $f^c=235.77 \text{ Kg/cm}^2$, siendo 23.77 Kg/cm^2 mayor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 13: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 4

Descripción	Edad (Días)	f'c Obtenido (Kg/cm²)
	7	169.87
Comb 4: Cal (10%) + Arcilla (0%)	14	216.88
	28	235.77

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- e) Combinación 5: Elaborado con el 88% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 12% de Cal que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia $f'c=237.22$ Kg/cm², siendo 25.22 Kg/cm² mayor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 14: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 5

Descripción	Edad (Días)	f'c Obtenido (Kg/cm²)
	7	177.40
Comb 5: Cal (12%) + Arcilla (0%)	14	224.45
	28	237.22

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- f) Combinación 6: Elaborado con el 81% de cemento calculado en el diseño de mezcla, más un 10% de Cal y un 9% de arcilla que sustituyen al cemento, se alcanzó una resistencia $f'c=218.64$ Kg/cm², siendo 6.64 Kg/cm² mayor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 15: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 6

Descripción	Edad (Días)	f'c Obtenido (Kg/cm²)
	7	166.10
Comb 6: Cal (10%) + Arcilla (9%)	14	196.55
	28	218.64

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- g) Combinación 7: Elaborado con el 83% de cemento calculado en el diseño de mezcla, más un 10% de Cal y un 7% de arcilla que sustituyen al cemento, se alcanzó una resistencia $f'c=222.09 \text{ Kg/cm}^2$, siendo 10.09 Kg/cm^2 mayor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 16: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 7

Descripción	Edad (Días)	f'c Obtenido (Kg/cm²)
Comb 7: Cal (10%) + Arcilla (7%)	7	169.10
	14	197.26
	28	222.09

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- h) Combinación 8: Elaborado con el 81% de cemento calculado en el diseño de mezcla, más un 12% de Cal y un 7% de arcilla que sustituyen al cemento, se alcanzó una resistencia $f'c=206.26 \text{ Kg/cm}^2$, siendo 5.74 Kg/cm^2 menor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 17: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 8

Descripción	Edad (Días)	f'c Obtenido (Kg/cm²)
Comb 8: Cal (12%) + Arcilla (7%)	7	155.78
	14	189.27
	28	206.26

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

- i) Combinación 9: Elaborado con el 79% de cemento calculado en el diseño de mezcla, más un 12% de Cal y un 9% de arcilla que sustituyen al cemento, se alcanzó una resistencia $f'c=189.29 \text{ Kg/cm}^2$, siendo 22.71 Kg/cm^2 menor al concreto patrón. En el cuadro siguiente se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado.

Tabla 18: Resistencia a la compresión adquirida por la combinación 9

Descripción	Edad (Días)	f'c Obtenido (Kg/cm2)
	7	140.84
Comb 9: Cal (12%) + Arcilla (9%)	14	171.16
	28	189.29

Fuente: Ensayo de compresión axial – Lab. USP

III. ANALISIS Y DISCUSION

3.1. 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 arcilla que sustituían al cemento.

Los resultados de los ensayos se anexan en el apartado VIII del presente.

3.1.1. CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR ARCILLA

De acuerdo a los resultados mencionados en el apartado III, se he podido deducir que es factible realizar la sustitución del cemento por acilla del Distrito de Acopampa, esto en los porcentajes de 7 y 9%, presentándose un mejor comportamiento mecánico del concreto a los 28 días de curado en condiciones normales con la combinación 2 que contiene como conglomerante al cemento en un 83% y a la arcilla en un 7%, la resistencia máxima alcanzada fue de $f'c=226.81 \text{ Kg/cm}^2$, siendo esto el 108.00% de la resistencia de diseño. Menor a esta resistencia fue obtenida con la combinación 3, la cual contenía un 81% de cemento y un 9% de arcilla, la resistencia máxima alcanzada con esta combinación fue de $f'c=213.58 \text{ Kg/cm}^2$, el cual se encuentra bastante cercano a la resistencia del concreto patrón que fue de 212.00 Kg/cm^2 . Estos resultados son mejor apreciados en el siguiente gráfico:

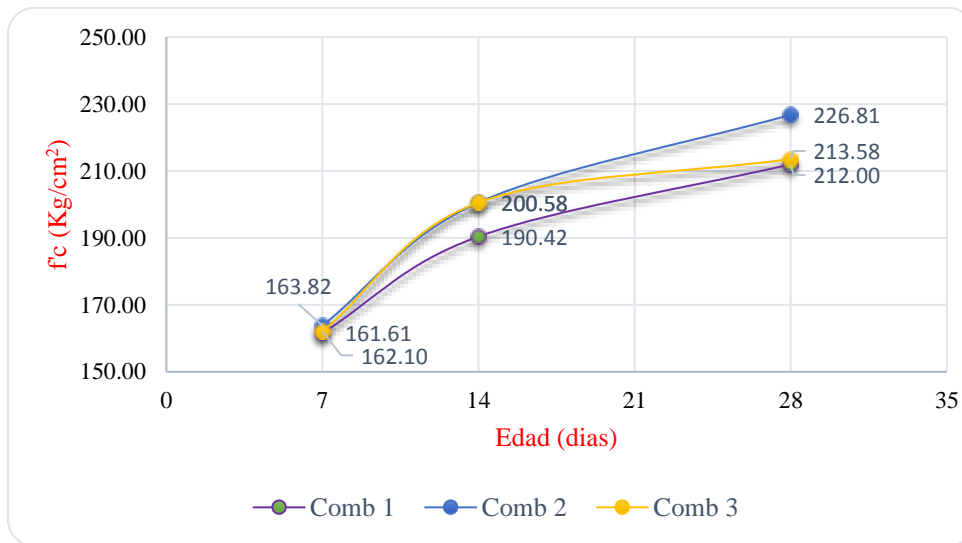


Grafico 7: Curva de resistencias a la compresión adquiridas por las combinaciones 1, 2 y 3

Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que un concreto debería de tener la resistencia de diseño que se le establece de acuerdo al uso que se le va a dar, lo más recomendable es usar la arcilla del Distrito de Acopampa (Previa activación mecánica) en un 9%, esto no porque se obtenga un concreto de mayor resistencia, pues se ha evidenciado lo contrario líneas atrás, sino más bien porque con esa sustitución no se estaría modificando de manera significativa las propiedades mecánicas del concreto y podrá desempeñarse estructuralmente de acuerdo a lo dispuesto en los diseños.

3.1.2. CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR CAL

Las resistencias de los testigos elaborados con la combinación de cemento y cal son notoriamente superiores a las resistencias obtenidas en el concreto patrón (Sin ninguna sustitución), es así que con la combinación 4 que contiene un 90% de cemento más un 10% de Cal se obtuvo un $f'c=235.77 \text{ Kg/cm}^2$, siendo ello el 112.27% de la resistencia del concreto patrón; la combinación 5 que contenía un 88% de cemento más un 12% de Cal proporciono una resistencia $f'c=237.22 \text{ Kg/cm}^2$, siendo ello un tanto mayor a

lo proporcionado por la combinación anterior pero notoriamente superior al concreto patrón.

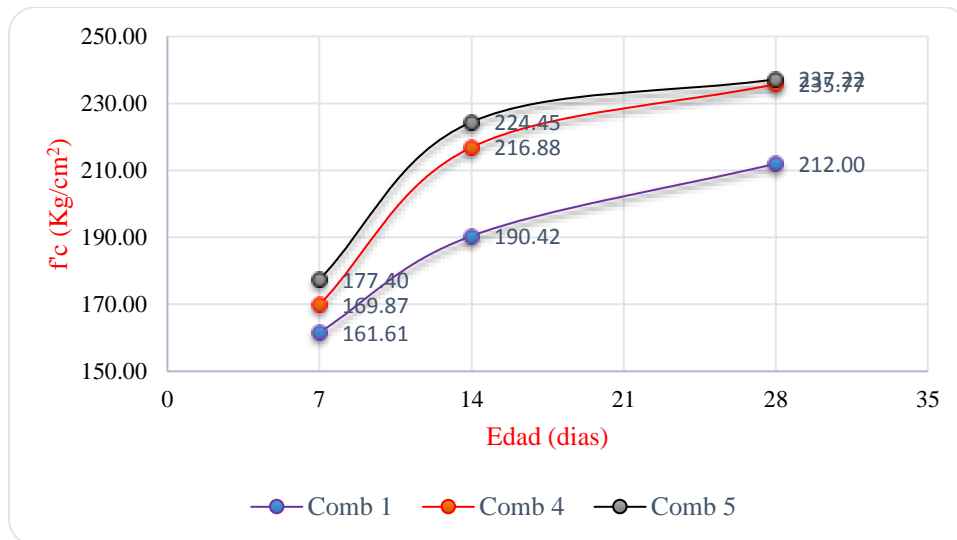


Gráfico 8: Curva de resistencias a la compresión adquiridas por las combinaciones 1, 4 y 5

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico anterior se puede apreciar las resistencias adquiridas de manera progresiva a lo largo de los 28 días de curado, se puede apreciar claramente que el porcentaje de sustitución óptimo es del 12% de Cal, se hace hincapié en que lo deseable es obtener un concreto con la resistencia de diseño con una desviación del +/- 2% por lo mucho, siendo los casos anteriores muy superiores a ello, es recomendable restringir el uso de la cal como sustituyente del cemento en la elaboración del concreto hasta determinarse el porcentaje que proporcione las mismas características mecánicas del concreto de diseño o concreto patrón.

3.1.3. CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL Y ARCILLA

Habiéndose variado la cantidad de arcilla en 7 y 9%, manteniendo constante la cantidad de Cal en 10% en dos combinaciones sucesivas y en 12% en otras dos, se pudo determinar la alternativa más conveniente de sustitución que a continuación se detalla.

La combinación 6 que contenía un 81% cemento, 10% de cal y 9% de arcilla, proporciono un concreto de $f'c=218.64 \text{ Kg/cm}^2$, siendo 6.64 Kg/cm^2 mayor al concreto patrón, por otra parte, la combinación 7 que contenía un 83% cemento, 10% de cal y 7% de arcilla proporciono un $f'c=222.09 \text{ Kg/cm}^2$, siendo 10.09 Kg/cm^2 mayor al concreto patrón. De estas dos combinaciones (6 y 7), es bastante factible la utilización de la combinación 6, esto debido a que la concentración de cemento es inferior en relación a la combinación 7 y proporciona una resistencia a la compresión bastante cercana al concreto de diseño.

Por otra parte, la combinación 8 que contenía 81% de cemento, 12% de cal y 7% de arcilla proporciono un $f'c=206.26 \text{ Kg/cm}^2$, siendo inferior en 5.74 Kg/cm^2 al concreto patrón y la combinación 9 que contenía un 79% de cemento, 12% de cal y 9% de arcilla proporciono un $f'c=189.29 \text{ Kg/cm}^2$, siendo menor al concreto patrón en 22.71 Kg/cm^2 , concluyéndose de las dos combinaciones anteriores que no es factible la utilización de la cal al 12% cuando se es combinado con la arcilla en 7 y 9%. A continuación se presenta una gráfica para una mejor apreciación de las resistencias adquiridas a distintas edades de curado.

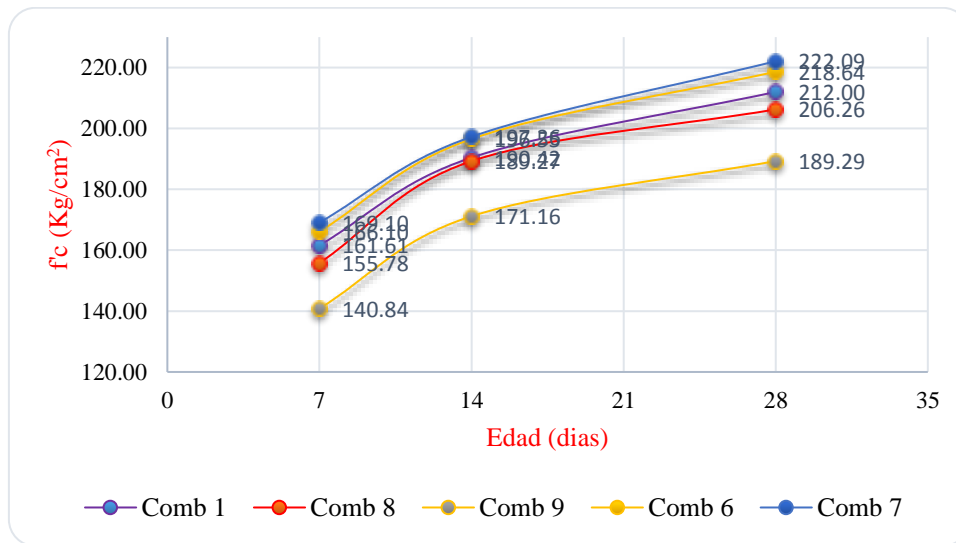


Grafico 9: Curva de resistencias a la compresión adquiridas por las combinaciones 1, 6, 7, 8 y 9

Fuente: Elaboración propia

3.1.4. COMBINACION ÓPTIMA

La determinación de la combinación óptima de cemento, cal y arcilla se realizó mediante la evaluación de las resistencias a la compresión adquiridas a las tres edades de curado (7, 14 y 28 días).

Es necesario mencionar que la combinación óptima para esta investigación es aquella que proporciona una resistencia a la compresión igual o cercana a la resistencia de diseño, es decir a un $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, no pretendiendo establecer o definir la combinación que mayor resistencia a la compresión proporcione para ser considerado como combinación óptima.

En los siguientes gráficos se muestran las resistencias promedio proporcionadas por cada combinación de cemento, cal y arcilla, estos deberán ser apreciados para determinar la variación con respecto a la combinación 1, la cual es la que respecta al concreto patrón.



Grafico 10: Resistencia a la compresión adquirida por las 9 combinaciones experimentales a los 7 días de curado

Fuente: Elaboración propia

Del grafico anterior se puede apreciar qué; la combinación 3 es la que menor variación presenta con relación al concreto patrón (Combinación 1), presentando apenas un + 0.49 Kg/cm² sobre la resistencia de control, seguidamente se tiene la combinación 2, presentando un + 2.21 Kg/cm² sobre la resistencia de control, en lo que respecta a la combinación 6, este presenta un + 4.49 Kg/cm² sobre la resistencia de control, finalmente la combinación 8, presentando un -5.83 Kg/cm² sobre la resistencia de control conforma el grupo de combinaciones que mejores resultados proporcionan a los 7 días de curado.

En el siguiente cuadro se puede apreciar la variación de resistencias de cada combinación con respecto a la resistencia del concreto patrón, esto expresado en porcentaje.

Tabla 19: Variación de las resistencias a la compresión de las combinaciones experimentales en relación al concreto patrón a los 7 días de curado

Combinaciones	Variación con relación al patrón (%)
Combinación 2	+ 1.367
Combinación 3	+ 0.303
Combinación 4	+ 5.111
Combinación 5	+ 9.770
Combinación 6	+ 2.778
Combinación 7	+ 4.635
Combinación 8	- 3.607
Combinación 9	- 12.852

Fuente: Elaboración propia

Respecto a las resistencias adquiridas por los testigos de concreto a los 14 días de curado, se ha identificado que las combinaciones 2,3, 6 y 8 son las que proporcionaron resistencias más cercanas al concreto patrón, presentando una desviación de +10.16 Kg/cm², +10.16 Kg/cm², - 6.13 Kg/cm² y -1.15 Kg/cm² respectivamente. Adicionalmente se puede mencionar que la combinación 5 alcanzo la mayor resistencia a la compresión, siendo superior en +34.03, siendo los testigos de esta combinación notablemente más resistentes pero demasiado desviados en relación al concreto patrón. En el grafico siguiente se puede realizar una mejor apreciación de lo mencionado:

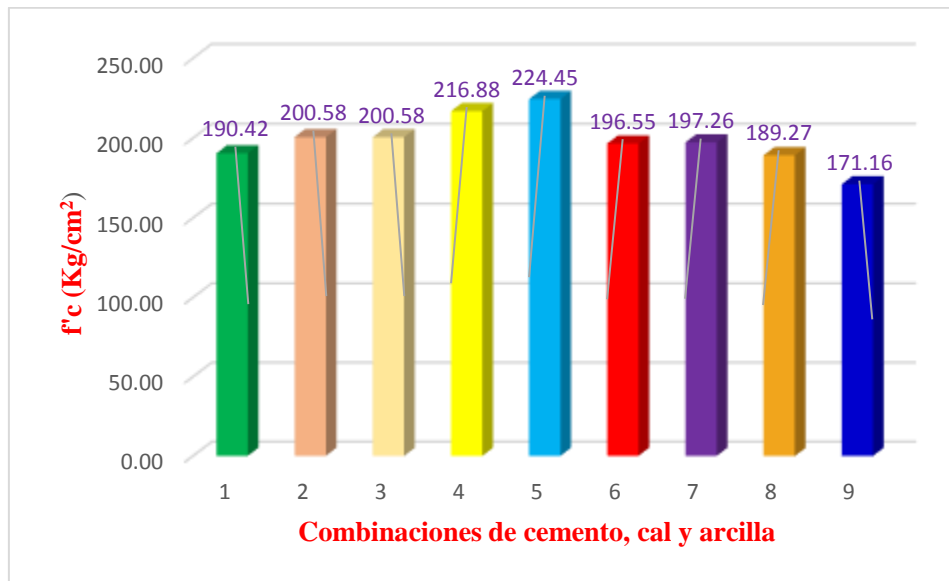


Grafico 11: Resistencia a la compresión adquirida por las 9 combinaciones experimentales a los 14 días de curado

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro se puede apreciar la variación de resistencias de cada combinación a los 14 días de curado con respecto a la resistencia del concreto patrón, esto expresado en porcentaje.

Tabla 20: Variación de las resistencias a la compresión de las combinaciones experimentales en relación al concreto patrón a los 14 días de curado

Combinaciones	Variación con relación al patrón (%)
Combinación 2	+ 5.335
Combinación 3	+ 5.335
Combinación 4	+ 13.895
Combinación 5	+ 17.871
Combinación 6	+ 3.219
Combinación 7	+ 9.592

Combinación 8	- 0.604
Combinación 9	- 10.114

Fuente: Elaboración propia

En lo que respecta a las resistencias adquiridas por los testigos a los 28 días de curado, se ha determinado que las combinaciones 3, 6 y 8 proporcionaron las resistencias más cercanas al concreto patrón, presentando una desviación de $+1.58 \text{ Kg/cm}^2$, 6.64 Kg/cm^2 y -5.74 Kg/cm^2 respectivamente. Al igual que a los 28 días de curado, la combinación 5 fue aquella que proporciono la mayor resistencia siendo superior en $+25.22 \text{ Kg/cm}^2$ en relación al concreto patrón o combinación 1. En el grafico siguiente se puede realizar una mejor apreciación de lo mencionado:

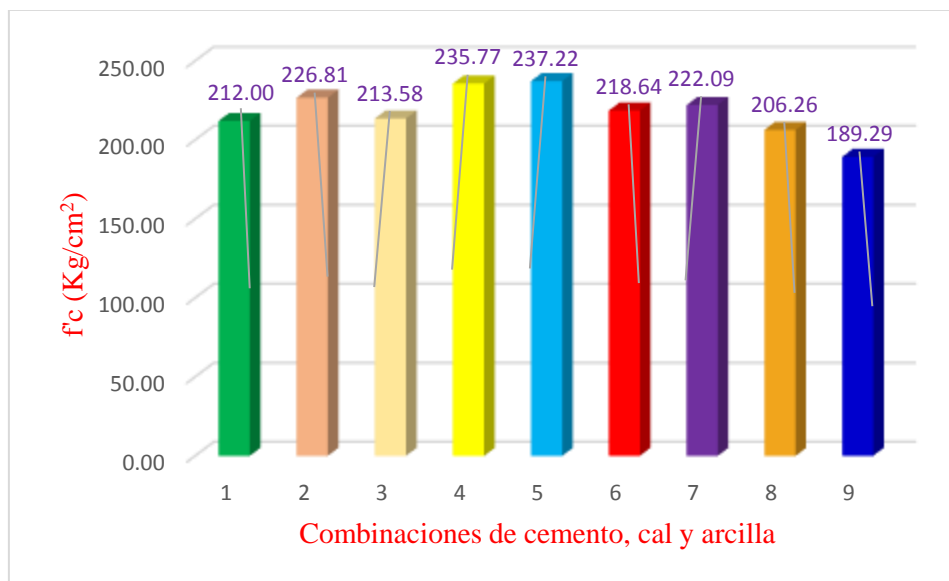


Grafico 12: Resistencia a la compresión adquirida por las 9 combinaciones experimentales a los 21 días de curado

Fuente: Elaboración propia

En el siguiente cuadro se puede apreciar la variación de resistencias de cada combinación con respecto a la resistencia del concreto patrón, esto expresado en porcentaje.

Tabla 21: Variación de las resistencias a la compresión de las combinaciones experimentales en relación al concreto patrón a los 21 días de curado

Combinaciones	Variación con relación al patrón (%)
Combinación 2	+ 6.986
Combinación 3	+ 0.745
Combinación 4	+ 11.212
Combinación 5	+ 11.896
Combinación 6	+ 3.132
Combinación 7	+ 4.759
Combinación 8	- 2.707
Combinación 9	- 10.712

Fuente: Elaboración propia

3.2. ANALISIS DE VARIANZA (ANOVA)

La valoración estadística de las resistencias promedio que se obtuvieron en los testigos de concreto a las 3 edades de curado fueron analizados mediante el análisis de varianza (ANOVA), para el análisis se realizó la clasificación de las combinaciones en función a los días de curado, es decir, se realizó un análisis de varianza de las resistencias proporcionadas por los testigos de concreto a los 7, 14 y 28 días de curado, clasificados y posteriormente analizados en grupos que se muestran a continuación:

Grupo 1: Resistencia de testigos de concreto a los 7 días de curado

Tabla 22: Resistencia a la compresión de los testigos a los 7 días de curado (Kg/cm²)

C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9
161.57	163.78	161.91	169.67	177.25	165.87	168.87	155.63	140.86
161.80	164.06	162.37	169.89	177.42	166.10	169.27	155.91	140.75
161.46	163.61	162.03	170.06	177.53	166.33	169.16	155.80	140.92

Fuente: Elaboración propia

Análisis de varianza de un factor

Tabla 23: Varianza de las resistencias promedio a los 7 días de curado

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C 1	3	484.833050	161.611017	0.02989260
C 2	3	491.454443	163.818148	0.05231205
C 3	3	486.304471	162.101490	0.05551483
C 4	3	509.620826	169.873609	0.03950093
C 5	3	532.201471	177.400490	0.02028426
C 6	3	498.302207	166.100736	0.05124446
C 7	3	507.300509	169.100170	0.04163612
C 8	3	467.345784	155.781928	0.02028426
C 9	3	422.524052	140.841351	0.00747315

Fuente: Elaboración propia

Análisis de varianza para determinar las diferencia de las resistencias

Tabla 24: Análisis de varianza de las resistencias promedio a los 7 días de curado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Promedio de cuadrados	F	Prob	Valor crítico para F
Entre grupos	2543.832	8	317.979	8995.372	0.02	2.510
Dentro de los grupos	0.636	18	0.035			
Total	2544.469	26				

Fuente: Elaboración propia

Siendo la significancia igual a 0.02, menor que 0.05, se establece que hay relación entre las 9 combinaciones analizadas y por tanto hay diferencias significativas entre las combinaciones.

Por otra parte, siendo el Fcalculado muy superior al valor crítico para F (8995.372 > 2.510), se puede establecer que existe una gran relación entre las 9 combinaciones analizadas y que las resistencia promedio proporcionado por los tres testigos de concreto de cada combinación a los 7 días de curado difieren o varían considerablemente unos a otros.

Grupo 2: Resistencia de testigos de concreto a los 14 días de curado

Tabla 25: Resistencia a la compresión de los testigos a los 14 días de curado (Kg/cm²)

C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9
190.44	200.74	200.74	216.75	224.62	196.43	197.45	189.13	170.97
190.27	200.45	200.45	216.86	224.22	196.55	197.00	189.47	171.31

190.55 200.57 200.57 217.03 224.50 196.66 197.34 189.19 171.19

Fuente: Elaboración propia

Análisis de varianza de un factor

Tabla 26: Varianza de las resistencias promedio a los 14 días de curado

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C 1	3	571.250707	190.416902	0.02028426
C 2	3	601.754386	200.584795	0.02028426
C 3	3	601.754386	200.584795	0.02028426
C 4	3	650.650821	216.883607	0.02028426
C 5	3	673.344652	224.448217	0.04163612
C 6	3	589.643463	196.547821	0.01281111
C 7	3	591.794001	197.264667	0.05551483
C 8	3	567.798529	189.266176	0.03309538
C 9	3	513.469157	171.156386	0.02989260

Fuente: Elaboración propia

Análisis de varianza para determinar las diferencia de las resistencias

Tabla 27: Análisis de varianza de las resistencias promedio a los 14 días de curado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Promedio de los cuadrados	F	Prob	Valor crítico para F
Entre grupos	5770.568	8	721.321	25549.856	0.02	2.510
Dentro de los grupos	0.508	18	0.028			
Total	5771.076	26				

Fuente: Elaboración propia

Siendo la significancia igual a 0.02, menor que 0.05, se establece que hay relación entre las 9 combinaciones analizadas y por tanto hay diferencias significativas entre las combinaciones.

Por otra parte, siendo el $F_{\text{calculado}}$ muy superior al valor crítico para F ($25549.856 > 2.510$), se puede establecer que existe una gran relación entre las 9 combinaciones analizadas y que las resistencia promedio proporcionado por los tres testigos de concreto de cada combinación a los 14 días de curado difieren o varían considerablemente unos a otros.

Grupo 3: Resistencia de testigos de concreto a los 28 días de curado

Tabla 28: Resistencia a la compresión de los testigos a los 28 días de curado (Kg/cm²)

C 1	C 2	C 3	C 4	C 5	C 6	C 7	C 8	C 9
212.00	227.16	213.75	235.71	237.07	218.79	222.13	206.06	189.13
212.17	226.26	213.41	235.94	237.41	218.62	221.90	206.28	189.25
211.83	226.99	213.58	235.65	237.18	218.51	222.24	206.45	189.47

Fuente: Elaboración propia

Análisis de varianza de un factor

Tabla 29: Varianza de las resistencias promedio a los 21 días de curado

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
C 1	3	635.993209	211.997736	0.02882501
C 2	3	680.418789	226.806263	0.23166764
C 3	3	640.747029	213.582343	0.02882501
C 4	3	707.300509	235.766836	0.02241945
C 5	3	711.658178	237.219393	0.02989260
C 6	3	655.913978	218.637993	0.02028426
C 7	3	666.270515	222.090172	0.02989260

C 8	3	618.788908	206.262969	0.03950093
C 9	3	567.855122	189.285041	0.02989260

Fuente: Elaboración propia

Análisis de varianza para determinar las diferencia de las resistencias

Tabla 30: Análisis de varianza de las resistencias promedio a los 21 días de curado

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Promedio de los cuadrados	F	Prob	Valor crítico para F
Entre grupos	5392.7048	8	674.088	13154.361	0.02	2.510
Dentro de los grupos	0.922	18	0.0512			
Total	5393.627	26				

Fuente: Elaboración propia

Siendo la significancia igual a 0.02, menor que 0.05, se establece que hay relación entre las 9 combinaciones analizadas y por tanto hay diferencias significativas entre las combinaciones.

Por otra parte, siendo el Fcalculado muy superior al valor crítico para F (13154.361 > 2.510), se puede establecer que existe una gran relación entre las 9 combinaciones analizadas y que las resistencia promedio proporcionado por los tres testigos de concreto de cada combinación a los 28 días de curado difieren o varían considerablemente unos a otros.

IV. CONCLUSIONES

- Habiéndose determinado la alcalinidad de los conglomerantes (Cemento, cal, arcilla y sus combinaciones), se ha encontrado que el mínimo de las combinaciones es 7.51 correspondiente a la arcilla y el máximo es de 12.30 correspondiente a la combinación de cal (12%), arcilla (9%) y cemento (79%), encontrándose todos dentro de los límites de acidez permisibles, por lo que su utilización no compromete la conservación y desenvolvimiento estructural del concreto.
- 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 arcilla, se puede concluir que ambos conglomerantes poseen propiedades cementantes, esto por el alto contenido de Oxido de calcio (71.267% en relación al peso total de una muestra en el caso de la cal) y oxido de silicio (63.930% también en relación al peso total de una muestra de arcilla en el caso de la arcilla), óxidos de los que se está conformado el cemento.
- Se pueden definir como “combinaciones óptimas de sustitución” a las combinaciones 3, 6 y 8, los cuales proporcionaron resistencias de 213.58 Kg/cm², 218.64 Kg/cm² y 206.26 Kg/cm² respectivamente, encontrándose bastante cercanos a la resistencia proporcionada por el concreto patrón que fue de 212.00 Kg/cm².
- De todas las combinaciones analizadas, se comprobó que la mayor resistencia a la compresión la proporciona la combinación 5 que sustituye al cemento por cal en un 12%, alcanzando esta un $f^{\circ}c=237.22$ Kg/cm², representando el 111.87 % de la resistencia del concreto patrón.
- La menor resistencia a la compresión la proporciona la combinación 9 que sustituye al cemento por cal y arcilla en un 12 y 9% respectivamente, alcanzando un $f^{\circ}c=189.29$ Kg/cm² y representando el 60.98% de la resistencia del concreto patrón, 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 se puede realizar sustituciones de cal por cemento en porcentajes superiores a 10 y 12%, quedando pendiente la determinación de la resistencia máxima que se podría obtener con sustituciones en porcentajes superiores.
- Habiéndose realizado la evaluación de los resultados obtenidos en los antecedentes y en la presente investigación, se concluye que no se puede realizar sustituciones de arcilla por cemento en porcentajes superiores al 7%, esto debido que a partir de dicho porcentaje las resistencias tienden a disminuir conforme se aumente la concentración de arcilla, esta conclusión se enmarca al uso de la arcilla de la ciudad de Carhuaz – Acopampa.
- Es factible la utilización de la cal y la arcilla de la Ciudad de Carhuaz para sustituir al cemento en la elaboración del concreto, tanto de manera individual como combinada.

V. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de la cal y la arcilla como conglomerante que sustituya al cemento en la preparación de concretos estructurales, en especial en porcentajes de 12% y 7% de cal y arcilla respectivamente.
- 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.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abanto, F. (2003). *Tecnología del Concreto*. Perú: Editorial San Marcos.
- 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, J. (1962). Plasticidad de las arcillas: Departamento de Silicatos del Patronato “Juan de Cierva”, de investigación técnica. Recuperado de: <http://boletines.secv.es/upload/20120210113459.196201449.pdf>
- Ferrer, R. (1984). *Cales, Cementos y hormigones*, Lima, Peru: Editorial Sintesis
- Norma ACI 318S-05. Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, Farmington Hills, Michigan 48333-9094, USA, Enero 2005
- NTP 339.088. Requisitos de calidad del agua para el concreto
- 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.
- 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.

VII. AGRADECIMIENTOS

A mis padres, hermanos y hermanas,
gracias por su apoyo y confianza.

VIII. ANEXOS Y APENDICE

APENDICE A: ANALISIS DE pH CEMENTO, CAL, ARCILLA Y COMBINACIONES



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAVAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %)”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29-08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento	12.13

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.


 Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %) ”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Arcilla

LUGAR DE MUESTREO: Acopampa - Carhuaz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29-08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
arcilla	7.51

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como ligeramente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.





UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %)”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cal

LUGAR DE MUESTREO: Carhuaz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cal	11.74

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.





UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCAH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %) ”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento + 10 % de Cal

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento + 10 % Cal	12.16

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.




 Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %) ”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento + 12 % Cal

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento + 12 % Cal	12.11

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.


 JEFATURA-LABORATORIO
 DE SUELOS Y AGUAS
 F.C.A.
 Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %) ”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento + 7 % arcilla

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento + 7 % arcilla	12.10

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.


 Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %) ”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento + 9 % arcilla

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento + 9 % arcilla	12.08

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.





UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %)”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento +10 % Cal + 7 % arcilla

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento + 10 % Cal + 7 % arcilla	12.26

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.



Guillermo Castilla Romero
 M.Sc. Guillermo Castilla Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANALISIS
 DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %) ”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento +10 % Cal + 9 % arcilla

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento + 10 % Cal + 9 % arcilla	12.28

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.



[Signature]
 M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %)”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento +12 % Cal + 7 % arcilla

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento + 12 % Cal + 7 % arcilla	12.27

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.




 Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: “Resistencia del Concreto con Cemento sustituido por la Combinación de Cal (en 0 %, 10 % y 12 %) y Arcilla (en 0%, 7 % y 9 %) ”

TESISTA : Pajuelo Huanuco, Luciano Eladio -tesista

MUESTRA : Cemento +12 % Cal + 9 % arcilla

LUGAR DE MUESTREO: Huaraz - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANALISIS: 29- 08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANALISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Cemento + 12 % Cal + 9 % arcilla	12.30

ENSAYOS

1.- Determinación de pH

OBSERVACIONES:

- La muestra es tomado por el cliente
- Lugar y condiciones de muestreo es indicado por el cliente

CONCLUSIONES

- El pH es calificado como extremadamente alcalina

Huaraz, 29 de Agosto del 2018.



Ing. M.Sc. Gerónimo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
 DE SUELOS Y AGUAS

APENDICE B: ANALISIS FRXDE DE LA ARCILLA Y LA CAL

**Informe N°127-LAQ/2018****Análisis de una muestra de arcilla por FRXDE****Introducción.**

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de arcilla a pedido del Sr. **Pajuelo Huánuco Luciano Eladio** alumno de la Universidad San Pedro, sede Huaraz, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

“Resistencia de Concreto con Cemento Sustituido por la Combinación de Cal en 0%, 10% y 12% y arcilla en 0%, 7% y 9%.”

La muestra está en forma de grano fino de color ladrillo claro.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 3990 cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg (Z=12) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos.. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arqueometría

componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de arcilla. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que se pueden formar en un proceso de calcinación. La suma en términos de contenido de óxidos es menor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

que 100%. Es probable que la muestra esté constituida en parte por compuestos de Na y/o Mg, que esta técnica no puede detectar, y/o diferentes de óxidos, y/o hay una ligera deficiencia en la calibración del instrumento. Para mayores detalles sobre la composición estructural de la muestra se sugiere hacer un análisis por difracción de rayos-X.

Tabla 1. Composición elemental de una muestra de arcilla en % de masa.

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al ₂ O ₃	17.061	18.985
SiO ₂	63.930	71.030
SO ₂	0.060	0.066
K ₂ O	2.882	3.207
CaO	1.272	1.415
TiO	0.703	0.783
Cr ₂ O ₃	0.006	0.007
MnO	0.065	0.073
Fe ₂ O ₃	3.863	4.298
Ni ₂ O ₃	0.001	0.002
CuO	0.002	0.002
ZnO	0.031	0.034
Ga ₂ O ₃	0.011	0.012
As ₂ O ₃	0.010	0.011
Rb ₂ O	0.007	0.008
SrO	0.029	0.033
Y ₂ O ₃	0.005	0.006
ZrO ₂	0.026	0.029
Total	89.864	100.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

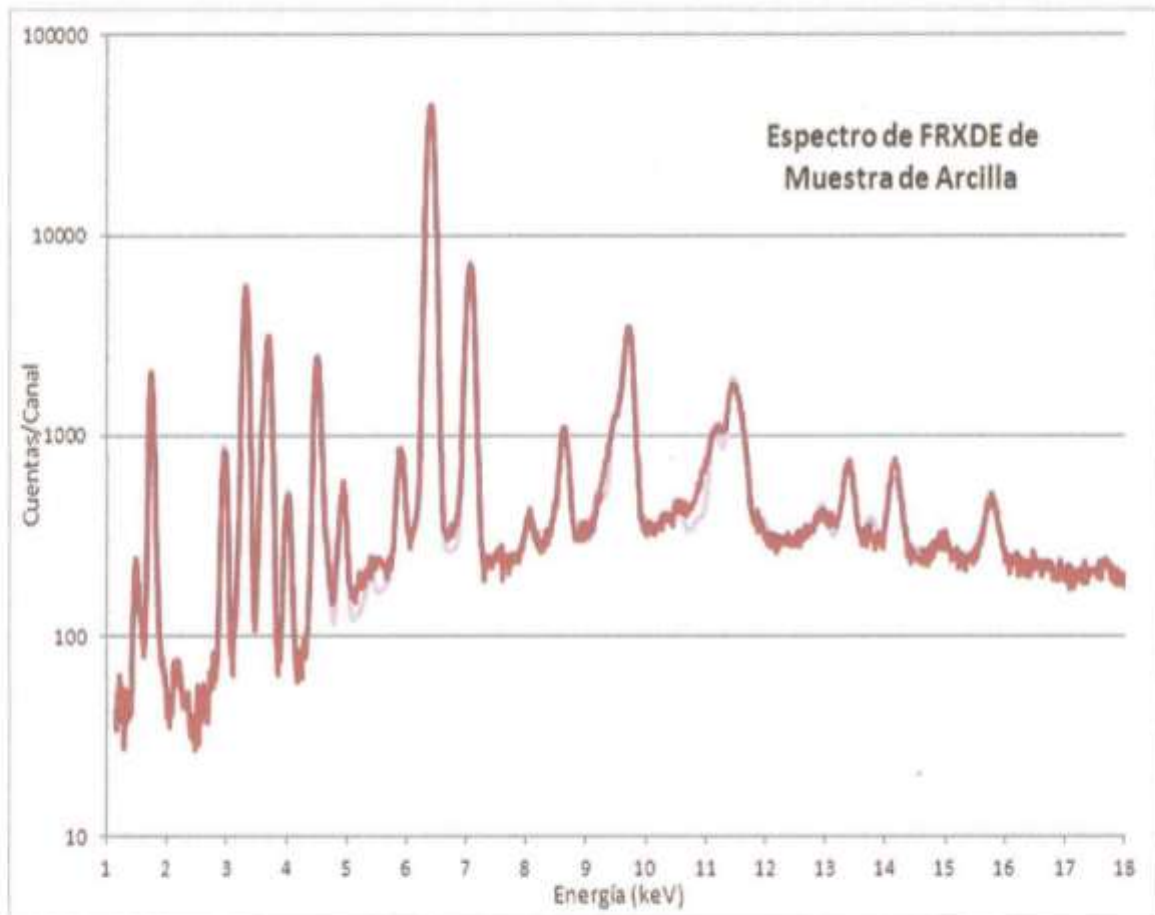


Figura 1. Espectro de FRXDE de una muestra de arcilla en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos

Laboratorio de Arqueometría



Lima, 21 de setiembre del 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arqueometría

Informe N°126-LAQ/2018

Análisis de una muestra de cal por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de cal a pedido del Sr. **Pajuelo Huánuco Luciano Eladio** alumno de la Universidad San Pedro, sede Huaraz, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

“Resistencia de Concreto con Cemento Sustituido por la Combinación de Cal en 0%, 10% y 12% y arcilla en 0%, 7% y 9%.”

La muestra está en forma de grano fino de color blanco.

Arreglo experimental.

Se utilizó un espectrómetro de FRXDE marca Amptek con ánodo de oro que operó a un voltaje de 30 kV y una corriente de 15 μ A. Los espectros se acumularon durante un intervalo neto de 300 s utilizando 2048 canales, con ángulos de incidencia y salida de alrededor de 45°; distancia muestra a fuente de rayos-X de 4 cm y distancia de muestra a detector de 2 cm aprox. La tasa de conteo, la cual depende de la geometría del arreglo experimental y de la composición elemental de la muestra, fue de alrededor de 7600 cts/s.

Esta técnica de FRXDE permite detectar la presencia de elementos químicos de número atómico Z igual y mayor que 13 mediante la detección de los rayos-X característicos que emiten los átomos. Las energías de estos rayos-X característicos aumentan con el valor de Z y pueden ser detectados siempre y cuando posean suficiente energía para poder penetrar la ventana del detector. Por esta limitación los picos de Mg ($Z=12$) no pueden ser registrados en el espectro.

La fuente de rayos-X utilizada emite rayos-X en dos componentes: un espectro con una distribución continua de 0 a 30 keV, y la otra que contiene los rayos-X característicos del tipo L y M de oro que se producen por el bombardeo del ánodo por electrones energéticos.. Como consecuencia de esto, los espectros de FRXDE poseen tres componentes principales: una



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arqueometría

componente continua que es consecuencia de la dispersión por la muestra de los rayos-X de la componente continua de la fuente, un espectro discreto producido por la dispersión en la muestra de los rayos-X característicos de oro de la fuente, y el espectro discreto de los rayos-X característicos emitidos por la muestra de acuerdo a los elementos que contiene..

La presencia en el espectro de los rayos-X de oro dispersados por la muestra interfiere con la detección de los rayos-X característicos de elementos como germanio y selenio, a menos que se encuentren en altas concentraciones.

El análisis elemental de la muestra se hace primero de manera cualitativa para identificar la presencia de elementos en la muestra. Para el análisis cuantitativo se utiliza un programa que se basa en el método de parámetros fundamentales y simula todo el arreglo experimental incluyendo: composición elemental de la muestra, geometría experimental, distribución espectral de los rayos-X que emite la fuente y su interacción con la muestra y el proceso de detección. En esta etapa se puede identificar la presencia de picos de rayos-X característicos que pudieron haber pasado inadvertidos en la parte cualitativa por superponerse a picos más intensos. Este programa se calibra usando una muestra de referencia certificada denominada "Suelo de San Joaquín" adquirida de la NIST.

Resultados.

En la Figura 1 se muestra el espectro de FRXDE de esta muestra de cal. La línea roja representa el espectro experimental y la línea azul el espectro calculado. Cubre el rango de energías de 1 a 18 keV que es el rango de interés en este estudio. En el espectro se puede observar la presencia del pico de argón, que es un gas inerte presente en el aire que respiramos. En general, cada pico identifica un elemento químico, comenzando por la izquierda con el pico de Al, seguido del pico de Si y así sucesivamente a medida que aumentan el número atómico del elemento y la energía del rayo-X.

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis elemental de esta muestra. Las concentraciones están dadas en % de la masa total en términos de los óxidos más estables que se pueden formar en un proceso de calcinación. La suma en términos de contenido de óxidos es menor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arqueometría

que 100%. Es probable que la muestra esté constituida en parte por compuestos de Na y/o Mg, que esta técnica no puede detectar, y/o diferentes de óxidos, y/o hay una ligera deficiencia en la calibración del instrumento. Para mayores detalles sobre la composición estructural de la muestra se sugiere hacer un análisis por difracción de rayos-X.

Tabla 1. Composición elemental de una muestra de cal en % de masa.

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al ₂ O ₃	5.799	6.552
SiO ₂	4.887	5.799
SO ₂	0.451	0.541
K ₂ O	0.152	0.182
CaO	71.267	85.434
TiO	0.234	0.281
MnO	0.017	0.021
Fe ₂ O ₃	0.412	0.495
Ni ₂ O ₃	0.008	0.009
CuO	0.003	0.004
ZnO	0.007	0.009
As ₂ O ₃	0.018	0.021
SrO	0.224	0.264
ZrO ₂	0.008	0.009
Total	83.417	100.00



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

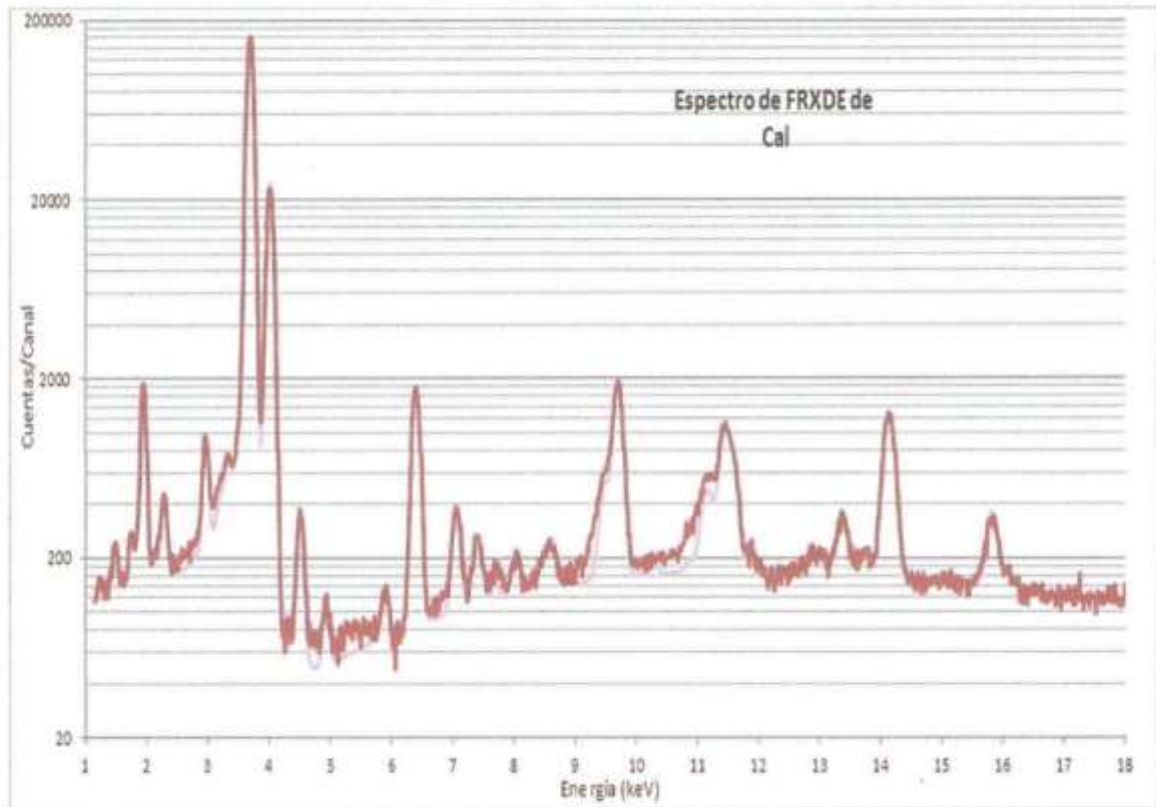


Figura 1. Espectro de FRXDE de muestra de cal en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos.....

Laboratorio de Arqueometría



Lima, 21 de setiembre del 2018

APENDICE C: ESTUDIO DE AGREGADOS

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216-71

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS					
TESIS : "Resistencia del Concreto con Cemento Sustituido por la Combinacion de CAL en (0%, 10% y 12%) y Arcilla en (0%, 7% y 9%)					
SOLICITA : Bach. Pajuelo Huanuco Luciano Eladio					
DISTRITO : HUARAZ			HECHO EN : USP -HUARAZ		
PROVINCIA : HUARAZ			FECHA 23/10/2018		
PROG (KM.) :			ASESOR		
DATOS DE LA MUESTRA					
CALICATA :					
MUESTRA : AGREGADO GRUESO, AGREGADO FINO					
PROF. (m) :					
AGREGADO GRUESO					
Nº TARRO		1	2		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	262,0	269,3		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	258,9	266,9		
PESO DE AGUA	(g)	3,09	2,42		
PESO DEL TARRO	(g)	21,28	22,5		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	237,66	264,4		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	1,30	0,9		
HUMEDAD PROMEDIO	(%)	1,11			
AGEGRADO FINO					
Nº TARRO		1	2		
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	247,4	242,8		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	237,6	233,0		
PESO DE AGUA	(g)	9,81	9,80		
PESO DEL TARRO	(g)	36,96	35,6		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	200,60	197,4		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	4,89	5,0		
HUMEDAD PROMEDIO	(%)	4,93			


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

 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

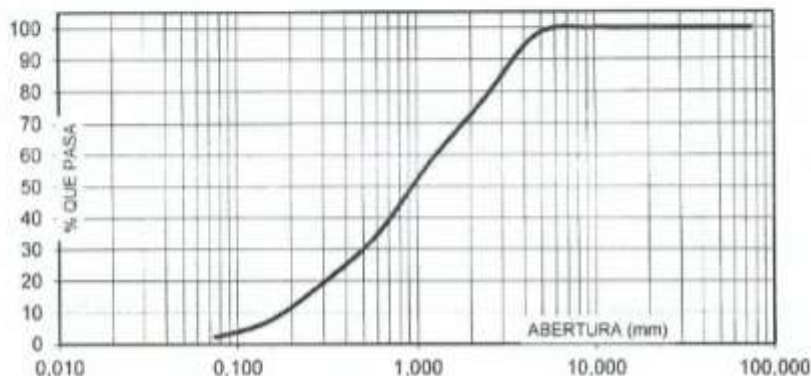
ANALISIS GRANULOMETRICO ARENA

SOLICITA : Bach. Pajuelo Huanuco Luciano Eladio
TESIS : "Resistencia del Concreto con Cemento Sustituido por la Combinacion de CAL en (0%, 10% y 12%) y Arcilla en (0%, 7% y 9%)
LUGAR : HUARAZ
FECHA : 23/10/2018 **CANTERA :** TACLLAN **MATERIAL :** AGREGADO FINO

PESO SECO INICIAL	796
PESO SECO LAVADO	777,50
PESO PERDIDO POR LAVADO	18,50

TAMIZ		PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No	ABERT. (mm.)				
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	15,90	2,00	2,00	98,00
N° 8	2,360	165,40	20,78	22,78	77,22
N° 16	1,180	156,30	19,64	42,41	57,59
N° 30	0,600	182,40	22,91	65,33	34,67
N° 50	0,300	120,50	15,14	80,46	19,54
N° 100	0,150	96,50	12,12	92,59	7,41
N° 200	0,075	40,50	5,09	97,68	2,32
PLATO		18,50	2,32	100,00	0,00
TOTAL		796,00	100,00		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : n° 4
 MODULO DE FINEZA : 3,06
 HUMEDAD : 4,93%

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

ANALISIS GRANULOMETRICO GRAVA

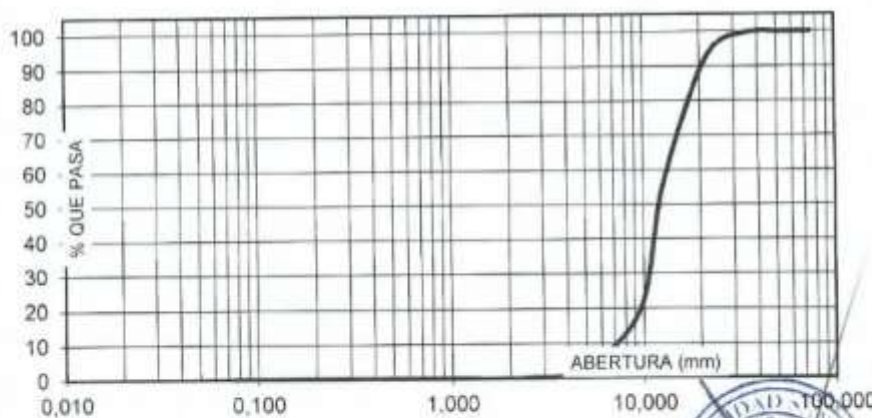
SOLICITA : Bach. Pajuelo Huanuco Luciano Eladio
TESIS : "Resistencia del Concreto con Cemento Sustituido por la Combinacion de CAL en (0%, 10% y 12%) y Arcilla en (0%, 7% y 9%)
LUGAR : HUARAZ
FECHA : 23/10/2018 **CANTERA :** TACLLAN **MATERIAL :** AGREGADO GRUESO

PESO SECO INICIAL	4004,5
PESO SECO LAVADO	4004,50
PESO PERDIDO POR LAVADO	0,00

TAMIZ		PESO RETEN (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No	ABERT. (mm.)				
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	125,30	3,13	3,13	96,87
3/4"	19,000	445,80	11,13	14,26	85,74
1/2"	12,500	1264,70	31,58	45,84	54,16
3/8"	9,500	1397,60	34,90	80,74	19,26
N° 4	4,750	670,50	16,74	97,49	2,51
N° 8	2,360	100,60	2,51	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		4004,50	100,00		

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL : 1"
MODULO DE FINEZA : 6,92
HUMEDAD : 1,11%

CURVA GRANULOMETRICA



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

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DEL AGREGADO FINO

SOLICITA : **Bach. Pajuelo Huanuco Luciano Eladio**
TESIS : "Resistencia del Concreto con Cemento Sustituido por la Combinacion de CAL en (0%, 10% y 12%) y Arcilla en (0%, 7% y 9%)
LUGAR : HUARAZ
CANERA : TACLLAN
MATERIAL : **AGREGADO FINO**
FECHA : **23/10/2018**

A : Peso de material saturado superficialmente seco (aire)
B : Peso de frasco+ agua
C = A + B : Peso frasco + agua +material
D : Peso de material+agua en el frasco
E = C - D : Volumen de masa+volumen de vacio
F : Peso Material seco en horno
G= E- (A - F) : Volumen de masa

ABSORCION (%) : $((A-F)/F) \times 100$

ABS. PROM. (%) :

500,2	500,8	
673,3	705,5	
1173,5	1206,3	
981,0	1013,8	
192,5	192,5	
492,9	493,5	
185,2	185,2	
1,48	1,48	
1,48		

P.e. Bulk (Base Seca) = F/E
P.e. Bulk (Base Saturada) = A/E
P.e. Aparente (Base Seca) = F/G

PROMEDIO

2,56	2,56	
2,60	2,60	
2,66	2,66	

PROMEDIO

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

2,56
2,60
2,66



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. Pajuelo Huanuco Luciano Eladio**
TESIS : "Resistencia del Concreto con Cemento Sustituido por la Combinacion de CAL en (0%, 10% y 12%) y Arcilla en (0%, 7% y 9%)
LUGAR : HUARAZ
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : **AGREGADO GRUESO**
FECHA : **23/10/2018**

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. (%) :

1854,2	1756,4	
1158,3	1098,5	
695,9	657,9	
1837,8	1740,5	
679,5	642,0	
0,89	0,91	
0,90		

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

PROMEDIO

2,64	2,65	
2,66	2,67	
2,70	2,71	

PROMEDIO

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

2,64
2,67
2,71



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

Ing. Elizabeth Maza Ambrosini
 CIP: 116544
 JEFE

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : Bach. Pajuelo Huanuco Luciano Eladio
TESIS : "Resistencia del Concreto con Cemento Sustituido por la Combinacion de CAL en (0%, 10% y 12%) y Arcilla en (0%, 7% y 9%)
LUGAR : HUARAZ
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : AGREGADO FINO
FECHA : 23/10/2018

PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7212,5	7256,3	7232,4
Peso de molde	2805,5	2805,5	2805,5
Peso de muestra	4407	4450,8	4426,9
Volumen de molde	2808,45	2808,45	2808,45
Peso unitario	1569	1585	1576
Peso unitario prom.	1577 Kg/m3		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	7756,8	7742,3	7721,5
Peso de molde	2805,5	2805,5	2805,5
Peso de muestra	4951,3	4936,8	4916
Volumen de molde	2808,45	2808,45	2808,45
Peso unitario	1763	1758	1750
Peso unitario prom.	1757 Kg/m3		



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

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : Bach. Pajuelo Huanuco Luciano Eladio
TESIS : "Resistencia del Concreto con Cemento Sustituido por la Combinacion de CAL en (0%, 10% y 12%) y Arcilla en (0%, 7% y 9%)
LUGAR : HUARAZ
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 23/10/2018

- PESO UNITARIO SUELTO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	21785,6	21723,6	21853,1
Peso de molde	7400,8	7400,8	7400,8
Peso de muestra	14384,8	14322,8	14452,3
Volumen de molde	9422,69	9422,69	9422,69
Peso unitario	1527	1520	1534
Peso unitario prom.	1527 Kg/m3		

PESO UNITARIO COMPACTADO

Ensayo N°	0 1	0 2	0 3
Peso de molde + muestra	22865,7	22912,3	22945,9
Peso de molde	7400,8	7400,8	7400,8
Peso de muestra	15464,9	15511,5	15545,1
Volumen de molde	9422,69	9422,69	9422,69
Peso unitario	1641	1646	1650
Peso unitario prom.	1646 Kg/m3		



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

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

APENDICE D: DISEÑO DE MEZCLA

DISEÑO DE MEZCLA (METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI)

Datos de ingreso:

Concreto requerido		Agregado Fino	
$f'c =$	210.00 Kg/cm ²	Peso seco compactado	1757.09 Kg/m ³
		Peso seco suelto	1576.75 Kg/m ³
		Peso específico de masa:	2.56 Tn/m ³
		Absorción:	1.48%
		Contenido de humedad:	4.93%
		Módulo de fineza:	3.06
Agregado grueso		Cemento	
Tamaño max. Nominal:	0.75 Pulg	Peso específico:	3.11
Peso seco compactado:	1645.73 Kg/m ³		
Peso seco suelto:	1526.81 Kg/m ³		
Peso específico de masa:	2.64 Tn/m ³		
Absorción:	0.90%		
Contenido de humedad:	1.11%		

a) Resistencia promedio

$$f'_{cr} = 210.00 \text{ Kg/cm}^2$$

b) Selección del asentamiento

"Seleccione el asentamiento de acuerdo a la tabla del Anexo A.1"

$$\text{Asentamiento} = 3.00 \text{ Pulg}$$

c) Volumen unitario de agua

"Seleccione el volumen unitario de agua de acuerdo a la tabla del Anexo A.2"

$$\text{Vol. Unit. Agua} = 205.00 \text{ L/m}^3$$

d) Contenido de aire

"Seleccione el contenido de aire de acuerdo a la tabla 2"

$$\text{Cont. Aire} = 2.00\%$$

e) Relación agua cemento

"Seleccione la relación agua - cemento por resistencia según la tabla del Anexo A.3"

Para f'_{cr} = 210.00 Kg/cm²

a/c = 0.676

f) Factor cemento

Fact. Cemento = 303.25 Kg/m³ 7.14 Bolsas/m³

g) Contenido de agregado grueso

Tamaño máximo nominal del agregado grueso = 0.75 Pulg

Módulo de fineza del agregado fino = 3.06

Peso seco compactado = 1645.73 Kg/m³

b/b_o = 0.60 m³

Peso agreg. Grueso = 987.44 Kg/m³

h) Volúmenes absolutos

Cemento: 0.10 m³

Agua: 0.21 m³

Aire: 0.02 m³

Agregado grueso: 0.37 m³

Σ = **0.70 m³**

i) Contenido de agregado fino

Volumen absoluto de agregado fino = 0.30 m³

Peso del agregado fino seco = 778.66 Kg/m³

j) Valores de diseño

Cemento: 303.25 Kg/m³

Agua: 205.00 L/m³

Agregado fino seco: 778.66 Kg/m³

Agregado grueso seco: 987.44 Kg/m³

h) Corrección por humedad del agregado

Peso húmedo del:

Agregado fino: 817.03 Kg/m³
Agregado grueso: 998.37 Kg/m³

Humedad superficial del:

Agregado fino: 3.45%
Agregado grueso: 0.20%

Aporte de humedad del:

Agregado fino: 26.85 L/m³
Agregado grueso: 2.02 L/m³

Σ = **28.87 m³**

Agua efectiva = 176.13 L/m³

Peso de materiales corregidos por humedad:

Cemento: 303.25 Kg/m³
Agua: 176.13 L/m³
Agregado fino húmedo: 817.03 Kg/m³
Agregado grueso húmedo: 998.37 Kg/m³

APENDICE E: ENSAYO DE ROTURA DE PROBETAS

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO

TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%) Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)

FECHA: 06/09/2018

F' C : 210 kg/cm²

Nº	TESTIGO ELEMENTO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²	FC/F' C (%)
				MOLDEO	ROTURA			
1	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	161,6	76,9
2	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	161,8	77,0
3	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	161,5	76,9
4	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	190,4	90,7
5	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	190,3	90,6
6	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	190,5	90,7
7	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	212,0	101,0
8	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	212,2	101,0
9	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	211,8	100,9

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 - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYO DE MATERIALES

[Signature]
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO
TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%) Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)
FECHA: 06/09/2018
F'c : 210 kg/cm²

Nº	TESTIGO ELEMENTO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²	FC/F'c (%)
				MOLDEO	ROTURA			
1	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	163,8	78,0
2	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	164,1	78,1
3	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	163,6	77,9
4	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	200,7	95,6
5	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	200,5	95,5
6	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	200,6	95,5
7	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	227,2	108,2
8	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	226,3	107,7
9	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	227,0	108,1

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
 FISCAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 EMPAQUETAMIENTO DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 118544
 JERE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO
TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%) Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)
FECHA: 06/09/2018
F'c : 210 kg/cm²

Nº	TESTIGO ELEMENTO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²	FC/F'c (%)
				MOLDEO	ROTURA			
1	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	161,9	77,1
2	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	162,4	77,3
3	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	162,0	77,2
4	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	200,7	95,6
5	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	200,5	95,5
6	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	200,6	95,5
7	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	213,8	101,8
8	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	213,4	101,6
9	CONCRETO CON CAL (0%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	213,6	101,7

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 - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 FUNDACIONES

 Ing. Elizabeth Maza Ambrósio
 CIP: 116544
 JEFE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO
**TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%)
 Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)**
FECHA: 06/09/2018
F'c : 210 kg/cm²

Nº	TESTIGO ELEMENTO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²	FC/F'c (%)
				MOLDEO	ROTURA			
1	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	169,7	80,8
2	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	169,9	80,9
3	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	170,1	81,0
4	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	216,8	103,2
5	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	216,9	103,3
6	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	217,0	103,3
7	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	235,7	112,2
8	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	235,9	112,4
9	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	235,7	112,2

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 - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES

 Ing. Elizabeth Maza Ambrósio
 GIP: 118544
 JEFE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO
TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%) Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)
FECHA: 06/09/2018
F' C : 210 kg/cm²

N°	TESTIGO ELEMENTO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²	FC/F' C (%)
				MOLDEO	ROTURA			
1	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	177,2	84,4
2	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	177,4	84,5
3	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	177,5	84,5
4	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	224,6	107,0
5	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	224,2	106,8
6	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	224,5	106,9
7	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	237,1	112,9
8	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	237,4	113,1
9	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (0%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	237,2	112,9

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 - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYOS DE MATERIALES

 Ing. Elizabeth Maza Ambrós
 CIP: 116544
 JEFE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO

TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%) Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)

FECHA: 06/09/2018

F'c : 210 kg/cm²

N°	TESTIGO ELEMENTO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²	FC/F'c (%)
				MOLDEO	ROTURA			
1	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	165,9	79,0
2	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	166,1	79,1
3	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	166,3	79,2
4	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	196,4	93,5
5	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	196,5	93,6
6	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	196,7	93,6
7	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	218,8	104,2
8	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	218,6	104,1
9	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	218,5	104,1

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 - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYO DE MATERIALES

 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO
TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%) Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)
FECHA: 06/09/2018
F'c : 210 kg/cm²

Nº	TESTIGO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²	FC/F'c (%)
	ELEMENTO			MOLDEO	ROTURA			
1	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	168,9	80,4
2	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	169,3	80,6
3	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	169,2	80,6
4	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	197,5	94,0
5	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	197,0	93,8
6	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	197,3	94,0
7	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	222,1	105,8
8	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	221,9	105,7
9	CONCRETO CON CAL (10%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	222,2	105,8

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
 HUARAZ - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYO DE MATERIALES

 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO
TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%) Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)
FECHA: 06/09/2018

F'c:		210 kg/cm ²						
	TESTIGO	PROGRESIVA	SLUMP	FECHA		EDAD	FC	FC/F'c
Nº	ELEMENTO	KM.	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm ²	(%)
1	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	155,6	74,1
2	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	155,9	74,2
3	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	155,8	74,2
4	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	189,1	90,1
5	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	189,5	90,2
6	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	189,2	90,1
7	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	206,1	98,1
8	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	206,3	98,2
9	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (7%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	206,5	98,3

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
 PI 161 - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
 ENSAYO DE MATERIALES

 Ing. Elizabeth Maza Ambrú
 CIP: 116544
 JEFE

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION
SOLICITA : PAJUELO HUANUCO LUCIANO ELADIO
TESIS : RESISTENCIA DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO POR LA COMBINACION DE CAL (EN 0%, 10% Y 12%) Y ARCILLA (EN 0%, 7% Y 9%)
FECHA: 06/09/2018
F' C : 210 kg/cm²

N°	TESTIGO ELEMENTO	PROGRESIVA KM.	SLUMP (")	FECHA		EDAD DIAS	FC Kg/cm ²	FC/F' C (%)
				MOLDEO	ROTURA			
1	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	140,9	67,1
2	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	140,7	67,0
3	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	140,9	67,1
4	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	171,0	81,4
5	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	171,3	81,6
6	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	171,2	81,5
7	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	189,1	90,1
8	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	189,2	90,1
9	CONCRETO CON CAL (12%) + ARCILLA (9%)	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	189,5	90,2

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 - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LEON PALDINO DE MECANICA DE SUILOFYS
 INGENIERIA DE MATERIALES
 Jng. Elizabeth Maza Ambrosio
 CIP: 116544
 JEFE

APENDICE F: PANEL FOTOGRAFICO**FOTOGRAFIA 01**

Vista panorámica de la cantera ubicada en el Distrito de Acopampa, Distrito de Carhuaz, Provincia de Carhuaz, Departamento de Ancash, cantera de donde se realizó la extracción de la arcilla.

**FOTOGRAFIA 02**

Fotografía que evidencia la identificación y extracción de la arcilla realizada por el investigador



FOTOGRAFIA 03

Activación mecánica de la arcilla, realizándose la trituration y posterior tamizado por el tamiz N°200



FOTOGRAFIA 04

Activación mecánica de la arcilla, realizándose la trituration y posterior tamizado por el tamiz N°200



FOTOGRAFIA 05

Estudio de agregados: Análisis granulométrico de los agregados realizado por el investigador en el laboratorio de mecánica de suelos de la USP -Huaraz



FOTOGRAFIA 06

Estudio de agregados: Peso seco y compactado realizado por el investigador en el laboratorio de mecánica de suelos de la USP -Huaraz



FOTOGRAFIA 07

Pesado de cemento, cal y arcilla para las 9 combinaciones, esto fue realizado el día del vaciado de las probetas.



FOTOGRAFIA 08

Llenado de las 81 probetas que conformaron la muestra para la investigación, esto se realizó poniendo en práctica los buenos procesos constructivos.



FOTOGRAFIA 09

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



FOTOGRAFIA 10

Se puede evidenciar que los testigos fueron elaborados correctamente, prueba de ello es que no se observa ningún vacío y los agregados se encuentran distribuidos de manera homogénea, proporcionándole así al concreto isotropía.



FOTOGRAFIA 11

Fotografía que evidencia que los ensayos de compresión axial de los testigos de concreto fueron realizados por el investigador.



FOTOGRAFIA 12

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 31: 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 32: Selección de volumen unitario de agua - Diseño de mezcla por el método ACI

ASENTAMIENTO O SLUMP	Agua en lit/m ³ de concreto para los tamaños máximos de agregados y asentamiento indicados							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
CONCRETO 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	
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 33: 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
300	0.55	0.46
250	0.62	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 34: 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	3
3/8	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4	0.66	0.64	0.62	0.6
1	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2	0.76	0.74	0.72	0.7
2	0.78	0.76	0.74	0.72
3	0.81	0.79	0.77	0.75
6	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Rivva, L. E. (2013)