

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Resistencia de un concreto $f'c=210$ kg/cm² con cemento
sustituido en 5%, 10% y 15% por relave de la mina
Antamina**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

Autor

Calhua Valenzuela, Helvi Rossani

Asesor

Salazar Sánchez, Dante Orlando

Chimbote – Perú

2018

PALABRAS CLAVE:

Tema	Concreto, resistencia a la compresión, relave minero.
Especialidad	Tecnología del concreto

KEY WORDS:

Topic	Concrete, resistance to compression, mining tailings.
Specialization	Concrete technology

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Programa	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Construcción y Gestión de la Construcción
OCDE	2. Ingeniería y tecnología 2.1. Ingeniería Civil. Ingeniería de la Construcción
Sub-Líneas o campos de la Investigación	Materiales de la Construcción Tecnología de la Construcción y Procesos constructivos

TITULO:

**RESISTENCIA DE UN CONCRETO F'C=210 KG/CM2 CON CEMENTO
SUSTITUIDO EN 5%, 10% Y 15% POR RELAVE DE LA MINA ANTAMINA**

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue determinar la resistencia del concreto $f^c=210 \text{ kg/cm}^2$ cuando se sustituye 5% ,10% y 15% del cemento por relave minero producido por la mina Antamina en el Distrito de San Marcos.

Para el desarrollo de la investigación se realizó diversos estudios con el fin de determinar la factibilidad de utilizar el relave minero en la sustitución del cemento, estudios como el peso específico, pH y fluorescencia de rayos X (FRX), comprobándose por medio de ellos que es favorable la utilización del relave para la elaboración del concreto.

Las resistencias a la compresión obtenidas por el concreto patrón a los 7, 14 y 28 días respectivamente fue de $f^c=162.21 \text{ Kg/cm}^2$, 190.32 Kg/cm^2 y 210.79 Kg/cm^2 , del concreto experimental con cemento sustituido al 5% por relave minero fue $f^c=164.86 \text{ Kg/cm}^2$, 192.30 Kg/cm^2 y 230.52 Kg/cm^2 , del concreto experimental con cemento sustituido al 10% por relave minero fue $f^c=166.59 \text{ Kg/cm}^2$, 194.36 Kg/cm^2 y 234.48 Kg/cm^2 y del concreto experimental con cemento sustituido al 15% por relave minero fue $f^c=166.25 \text{ Kg/cm}^2$, 193.25 Kg/cm^2 y 232.30 Kg/cm^2 a los 7, 14 y 28 días de curado respectivamente, la validez estadística de estas resistencias fue evaluado mediante la prueba ANOVA, determinándose a través de ello que existen diferencias significativas entre las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado, implicando ello que efectivamente la sustitución del cemento por relave minero proporciona resistencias superiores.

ABSTRACT

The objective of this investigation was to determine the concrete strength $f'_c = 210 \text{ kg / cm}^2$ when 5%, 10% and 15% of the cement is replaced by mine tailings produced by the Antamina mine in the District of San Marcos.

For the development of the research several studies were carried out in order to determine the feasibility of using the mine tailings in the substitution of cement, studies such as specific gravity, pH and X-ray fluorescence (FRX), verifying by means of them that the use of the tailings for the manufacture of concrete is favorable.

The compressive strengths obtained by the concrete pattern at 7, 14 and 28 days respectively was $f'_c = 162.21 \text{ Kg / cm}^2$, 190.32 Kg / cm^2 and 210.79 Kg / cm^2 , of the experimental concrete with 5% substituted cement by mining tail was $f'_c = 164.86 \text{ Kg / cm}^2$, 192.30 Kg / cm^2 and 230.52 Kg / cm^2 , of the experimental concrete with cement substituted to 10% by mining tailings was $f'_c = 166.59 \text{ Kg / cm}^2$, 194.36 Kg / cm^2 and 234.48 Kg / cm^2 and of the experimental concrete with cement replaced to 15% by mining tailings was $f'_c = 166.25 \text{ Kg / cm}^2$, 193.25 Kg / cm^2 and 232.30 Kg / cm^2 at 7, 14 and 28 days of curing respectively, the statistical validity of these resistances was evaluated by the ANOVA test , determining through this that there are significant differences between the resistances obtained at the 3 ages of curing, implying that effectively the replacement of the cement by mining tailings provides superior resistances.

ÍNDICE

PALABRAS CLAVE:	i
TITULO:	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT.....	iv
ÍNDICE.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGIA	22
III. RESULTADOS	25
IV. ANALISIS Y DISCUSION	38
V. CONCLUSIONES	48
VI. RECOMENDACIONES.....	50
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	51
VIII. AGRADECIMIENTOS	53
IX. ANEXOS Y APENDICE.....	54
APENDICE A: Peso específico del cemento, relave y combinaciones.....	54
APENDICE B: Análisis de pH del cemento, relave y combinaciones	57
APENDICE C: Análisis FRXDE del relave minero.....	61
APENDICE D: Estudio de agregados	67
APENDICE E: Diseño de mezcla.....	75
APENDICE G: Panel fotográfico	92

ANEXO A: Tablas para el diseño de mezclas por el método del ACI.....	97
Anexo A.2. Selección de volumen unitario de agua.....	97
Anexo A.3. Selección de relación agua – cemento.....	98
Anexo A.4. Selección de peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto.....	98

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición química del cemento y la procedencia de la materia prima	6
Tabla 2: Composición química del cemento empleado	7
Tabla 3: Requisitos para agua de mezcla NTP 339.088	11
Tabla 4: Selección de la resistencia de diseño cuando no se tengan registros.....	12
Tabla 5: Selección de la resistencia de diseño teniendo en consideración la calidad de la obra	13
Tabla 6: Conceptuación de variable independiente	20
Tabla 7: Conceptuación de variables dependientes	20
Tabla 8: Diseño de bloque completo al azar de la investigación.....	23
Tabla 9: Técnicas e instrumentos de investigación	24
Tabla 10: Peso específico del relave y combinaciones con el cemento.....	25
Tabla 11: Alcalinidad del cemento, relave minero y combinaciones	26
Tabla 12: Composición química del relave minero a nivel de óxidos.....	26
Tabla 13: Relación a/c del concreto patrón y experimentales	28
Tabla 14: Cantidades de materiales por unidad de probeta	30
Tabla 15: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 7 días de edad	32
Tabla 16: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 14 días de edad	33
Tabla 17: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 28 días de edad	34
Tabla 18: Comparación de las Resistencias a la Compresión del Concreto Patrón y Experimentales.....	35
Tabla 19: Fórmulas de análisis de varianza (ANOVA).....	36
Tabla 20: Análisis de varianza para determinar las diferencias de las resistencias de los concretos patrón y experimentales $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$	36

Tabla 21: Porcentaje de concentración de óxidos en el cemento y relave minero	39
Tabla 22: Procedencia del relave minero.....	45
Tabla 23: Selección del Slump - Diseño de mezcla por el método ACI	97
Tabla 24: Selección de volumen unitario de agua - Diseño de mezcla por el método ACI.....	97
Tabla 25: Selección de relación agua/cemento - Diseño de mezcla por el método ACI.....	98
Tabla 26: Selección de peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto - Diseño de mezcla por el método ACI.....	98

ÌNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Agregado grueso.....	10
Gráfico 2: Esquema de cancha de lixiviación.....	15
Gráfico 3: Curva granulométrica del agregado grueso	28
Gráfico 4: Curva granulométrica del agregado fino	29
Gráfico 5: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 7 días de edad	32
Gráfico 6: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 14 días de edad	33
Gráfico 7: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 28 días de edad	34
Gráfico 8: Resistencia a la compresión a los 28 días.....	35
Gráfico 9: Variación de la resistencia f'c en función a la relación a/c.....	40
Gráfico 10: Resistencia Vs. días de curado del concreto patrón.....	42
Gráfico 11: Resistencia Vs. días de curado del concreto patrón y concreto con relave al 5%	43
Gráfico 12: Resistencia Vs. días de curado del concreto patrón y concreto con relave al 10%	44
Gráfico 13: Resistencia Vs. días de curado del concreto patrón y concreto con relave al 15%	45
Gráfico 14: Comparación de la Resistencia más óptima del concreto.....	46

I. INTRODUCCIÓN

Soto I. (2012), llegó a concluir que la sustitución del agregado grueso por la escoria de horno eléctrico tiene buenos resultados, en primer lugar la resistencia no aumenta notablemente (patrón $f^c=210 \text{ Kg/cm}^2$, experimental $f^c=220 \text{ kg/cm}^2$ con un % de sustitución del 10%) pero es duradero el tiempo de vida del concreto, en segundo lugar lo consideran como un concreto pesado, en tercer y último lugar, el árido grueso presentó una granulometría continua, un tamaño máximo de árido de 25.4 mm, elevado por ciento de huecos, altos pesos específicos y unitarios, y bajo porcentaje de absorción de agua e impurezas.

El filler presentó una granulometría discontinua y contiene mucho fino ya que más del 50% del material tamizado fue más fino que el tamiz # 200.

Boza R., (2011), llegó a concluir que las escorias de acería apuntan a cumplir los requisitos necesarios para utilizarla en la construcción como adición al cemento Portland, como árido fino y árido grueso en el hormigón hidráulico y asfáltico.

Ya que en su experimento con un concreto patrón de $f^c=210 \text{ Kg/cm}^2$, la escoria de horno eléctrico cumple las mismas funciones que el agregado grueso, manteniendo su resistencia, pero haciéndolo duradero.

El uso de la escoria como material de construcción potencia el desarrollo sostenible, tanto por el aprovechamiento de los residuos como por la reducción de la explotación de los recursos naturales.

Anicama, (2013), en su investigación “estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios”. Nos presenta las siguientes conclusiones y recomendaciones:

- Una de las principales características de los diseños obtenidos fue su simplicidad. Al plantear diseños que no usaron tantos aditivos, ni combinaciones de agregados difíciles de obtener, aseguramos que puedan realizarse y adaptarse en cualquier parte de nuestro país.
- Los relaves en las proporciones trabajadas no incorporan contenido de aire significativo a las mezclas de concreto.

- Los relaves en las proporciones trabajadas no hacen variar significativamente el slump del concreto.
- Con respecto al relave escogido Andaychagua, éste presentó características químicas en el límite por lo especificado en la norma NTP 400.037 para sales solubles totales y sulfatos solubles (Ver tabla 15). Luego para obtener resistencias altas los relaves no deben usarse como relleno volumétrico en grandes cantidades ya que podrían atacar la estructura interna del concreto haciendo que el concreto se fisure y exponga al acero de refuerzo.
- Se concluye que las adiciones de relave en proporciones menores a 5% no afectarán las características físicas principales de los concretos convencionales.
- En función a los resultados corroboramos que el diseño GA-ANDAY (2%) podrá usarse en la construcción de pavimentos con tránsito liviano o veredas. Se contará con un concreto convencional de 210 Kg/cm² con slump de aproximadamente 5” que puede bombearse por tuberías.
- En general al proponer reemplazos de cemento en mezclas de concreto, de manera indirecta estamos contribuyendo con nuestro medio ambiente ya que la producción de cemento es una de las más contaminantes por su consumo de combustibles fósiles y la liberación de CO₂.
- Se recomienda trabajar con porcentajes de reemplazo de cemento por relave menores a 5% para obtener resistencias altas.
- Se recomienda trabajar con porcentajes de reemplazo de cemento por relave del orden de 25% para obtener resistencias bajas.
- Los diseños preparados han sido efectuados en una zona de clima templado. Para trabajarlos en zonas con bajas temperaturas se deberían usar aditivos plastificantes para climas fríos y tener las consideraciones necesarias para los ciclos de hielo y deshielo (Incorporar aire adicional si fuese necesario).
- Se recomienda seguir trabajando con estos tipos de concreto, debido a que se demuestra que los relaves mineros pueden ser usados de manera segura sin que afecten negativamente las principales propiedades de los concretos convencionales.

- Se propone como línea de aplicación futura estudiar el uso de los relaves mineros para incorporarlos en morteros para asentado de muros de albañilería, bloques de concreto vibrado, cimientos en general, shotcrete y presas de concreto rolado. Con esto se tendría un abanico más amplio de aplicaciones prácticas para ser usadas en nuestro medio.

Fundamentación científica

En la presente, por enfocarse la investigación a la factibilidad de la sustitución del cemento en la elaboración del concreto por relave de la mina Antamina, no se realizará 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 al relave minero.

Tecnología del concreto

El concreto, presenta un comportamiento viscoso, mientras que la otra, formada por los agregados, muestra un comportamiento casi elástico.

Estando los agregados rodeados y separados entre ellos por la pasta de cemento. Resulta así, la definición de un material heterogéneo, cuya estructura particular posibilita un comportamiento inelástico; siendo las deformaciones de la fase viscosa susceptible de ser modificadas por el tiempo y las condiciones de curado, creando tensiones internas considerables.

Por otra parte, a los problemas de diseño y construcción, característicos de las fábricas de piedra, de índole mecánica según las formas y las masas de los elementos, se unen en las construcciones de concreta multitud de otros factores, que deben ser conocidos y apreciados por el Ingeniero, que interviene directamente en su fabricación desde una primera instancia.

Así pues, ha de estudiar el tipo y calidad de los áridos, los problemas de fraguado y endurecimiento del aglomerante, la dosificación del conjunto, su fabricación y puesta en obra, su comportamiento bajo la acción de las cargas y de los agentes destructivos (Gonzales. M, 1962).

Concreto

El concreto es un pseudo sólido, sujeto en el tiempo a fenómenos físicos- químicos localizados en la pasta de cemento, por la actividad del mismo, como por el equilibrio termodinámico con el ambiente.

El concreto ha sido definido, así como un sistema de dos fases, una de las cuales. La pasta del cemento (Gonzales, M. 1962).

Características del concreto

Trabajabilidad:

Es una propiedad importante para muchas aplicaciones del concreto. En esencia, es la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad.

Durabilidad:

El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio.

Impermeabilidad:

Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla.

Resistencia:

Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general se determina por la resistencia final de una probeta en compresión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad. (Silva, I.2005)

Resistencia a la Compresión

(Gallego, 2005) Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del

concreto es una medida bien común, que los ingenieros empeñamos para diseñar edificios y otras estructuras.

La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos a la compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste la carga y se reporta en unidades de libras-fuerza por pulgadas cuadradas (PSI) en unidades corrientes utilizadas en EEUU o en mega pascales (MPa) en unidades SI.

Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 2.500 psi (17MPa) para concreto residencial hasta 4.000 psi (28MPa) y más para estructuras comerciales. Para determinar aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta 10.000 psi (70MPa) y más.

Los cilindros sometidos a ensayo de aceptación y control de calidad se elaboran y curan siguiendo los procedimientos descritos en probetas curadas de manera estándar según la norma ASTM C31 “Prácticas estándar para elaborar y curar cilindros de ensayo de concreto en campo”. Para estimar la resistencia del concreto in situ, la norma ASTM C31 formula procedimientos para las pruebas de curado en campo.

Las probetas de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto. Un resultado de prueba es el promedio de, por lo menos, dos pruebas de resistencia curadas de manera estándar o convencional elaboradas con la misma muestra de concreto y sometidas a ensayo a la misma edad.

Componentes del Concreto

El concreto está constituido por una mezcla, en proporciones definidas de:

- Cemento
- Agregado Fino
- Agregado Grueso
- Agua

Cemento

El cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos.

Componentes químicos:

- Silicato tricálcico, el cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.
- Silicato dicálcico, el cual define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
- Aluminato tricálcico, es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, es preciso añadirle y eso durante la fabricación del cemento.
- Aluminio- ferrito tetracálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- Componentes menores: oxido de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio.

Los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento y las proporciones generales en que intervienen son:

Tabla 1: Composición química del cemento y la procedencia de la materia prima

%	Componente químico	Procedencia usual
	Oxido de calcio (CaO)	Rocas Calizas
	Oxido de Sílice (SiO ₂)	Areniscas
95%<	Oxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas
	Oxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, Mineral de Hierro, pirita
5%<	Oxido de Magnesio, Sodio, potasio, titanio, azufre, fósforo Y magnesio	Minerales Varios

Fuente: Rivva López, 1992. "Diseño de mezclas"

Tipos de Cementos:

- Tipo I, para uso general que no requiera propiedades especiales especificadas para cualquier otro tipo.
- Tipo II, para uso general y específicamente cuando se desea moderada resistencia a los sulfatos.
- Tipo III, para ser utilizado cuando se requiere altas resistencias iniciales.
- Tipo IV, para usar cuando se desea bajo calor de hidratación.
- Tipo V, para usar cuando se desea alta resistencia a los sulfatos.

El cemento empleado para la presente tesis fue el cemento Portland tipo I. (Silva, I.2005)

Tabla 2: Composición química del cemento empleado

Componentes	Cemento Tipo I
Cal Combinada : CaO	62.5%
Silice: SiO ₂	21.0%
Alumina: Al ₂ O ₃	6.5%
Hierro : Fe ₂ O ₃	2.5%
Óxido de Azufre: SO ₃	2.0%
Magnesio: MgO	2.0%
Perdida al Fuego: P.F	2.0%
Residuo Insoluble: R.I	1.0%
Alcalis: Na ₂ O + K ₂ O	0.5%

Fuente: Silva I. (2005)

Agregado fino

El agregado fino es el material proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasan el tamiz de 3/8" (9.51mm) y es retenido en el tamiz N°200 (74um). Norma Técnica Peruana 400.011

Propiedades físicas:

El agregado fino a utilizarse en el concreto debe cumplir ciertos requisitos mínimos de calidad según las especificaciones técnicas de las normas peruanas NTP.

- **Peso unitario:** El peso unitario depende de ciertas condiciones intrínsecas de los agregados, tales como su forma, tamaño y granulometría, así como el contenido de humedad; también depende de factores externos como el grado de compactación impuesto, el tamaño máximo del agregado en relación con el volumen del recipiente, la forma de consolidación, etc.
- **Peso específico:** El peso específico, es la relación entre el peso del material y su volumen, su diferencia con el peso unitario está en que este no toma en cuenta el volumen que ocupan los vacíos del material. Es necesario tener este valor para realizar la dosificación de la mezcla y también para verificar que el agregado corresponda al material de peso normal.
- **Contenido de humedad:** Es la cantidad de agua que contiene el agregado fino. Esta propiedad es importante porque de acuerdo a su valor (en porcentaje), la cantidad de agua en el concreto varía.
- **Absorción:** Es la capacidad del agregado fino de absorber el agua en contacto con él. Al igual que el contenido de humedad, esta propiedad influye en la cantidad de agua para la relación agua/cemento en el concreto.
- **Granulometría:** La granulometría se refiere a la distribución de las partículas de arena. El análisis granulométrico divide la muestra en fracciones de elementos del mismo tamaño, según la abertura de los tamices utilizados. La norma técnica peruana establece las especificaciones granulométricas.
- **Módulo de finura:** Es un índice aproximado y representa el tamaño promedio de las partículas de la muestra de arena, se usa para controlar la uniformidad de los

agregados. La norma establece que la arena debe tener un módulo de finura no menos a 2.35 ni mayor que 3.15.

- **Superficie específica:** Es la suma de las áreas superficiales de las partículas del agregado por unidad de peso, para su determinación se consideran dos hipótesis que son: que todas las partículas son esféricas y que el tamaño medio de las partículas que pasan por un tamiz y quedan retenidas en el otro es igual al promedio de las partículas.

Agregado grueso

El agregado grueso es el retenido en el tamiz 4.75 mm(Nº9) proveniente de la desintegración natural o mecánica de la roca, que cumple con los límites establecidos en la norma técnica peruana 400.037.

El agregado grueso suele clasificarse en grava y piedra triturada o chancada. La grava es el agregado grueso, proveniente de la desintegración natural de materiales pétreos, encontrándoseles corrientemente en canteras y lechos de ríos, depositados en forma natural.

Propiedades físicas:

Los agregados gruesos para que puedan ser utilizados en la preparación del concreto de alta resistencia deben cumplir, aparte de los requisitos mínimos de las normas, que proceda de rocas ígneas plutónicas de grano fino, que han enfriado en profundidad, con una dureza no menor a 7 y una resistencia en compresión no menor del doble de la resistencia que se desea alcanzar en el concreto. (Silva, I.2005).

- **Peso unitario:** El peso unitario o peso aparente del agregado, es el peso que alcanza un determinado volumen unitario, el cual se expresa en Kg/m³. Los valores para agregados normales varían entre 1500 y 1700 Kg/m³.

- **Peso específico:** Esta propiedad es un indicador de la calidad del agregado; valores altos entre 2.5 a 2.8, corresponden a agregados de buena calidad, mientras que valores que el menor indicado son de mala calidad (porosos, débiles y absolutamente con mayor cantidad de agua, etc.)
- **Contenido de humedad:** Es la cantidad de agua que contiene el agregado grueso. Esta propiedad es importante porque de acuerdo a su valor (en porcentaje) la cantidad de agua en el concreto varía.
- **Absorción:** Es la capacidad del agregado grueso de absorber el agua en contacto con él. Al igual que el contenido de humedad, esta propiedad influye en la cantidad de agua para la relación agua/cemento en el concreto.
- **Granulometría:** La granulometría se refiere a la distribución por tamaños de las partículas de los agregados. En concretos de alta resistencia no es recomendable utilizar toda la granulometría del agregado grueso, por investigaciones se ha determinado utilizar tamaños máximos de piedra que están en un rango para obtener óptima resistencia en compresión.



Gráfico 1: Agregado grueso

Fuente: https://www.google.com.pe/search?q=agregado+grueso&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwiUtL77vcXeAhWBjFkKHUiCDFsQ_AUIDigB#

Agua

El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. Su función principal es hidratar el cemento, pero también se le usa para mejorar la trabajabilidad de la mezcla. (Silva, I.2005)

Tabla 3: Requisitos para agua de mezcla NTP 339.088

Descripción	Limite permisible
Cloruros	300ppm.
Sulfatos	300ppm.
Sales de magnesio	150ppm.
Sales solubles totales	1500ppm.
pH	Mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm.
Materia Orgánica	10 ppm.

Fuente: Silva I. (2005)

Durabilidad del Concreto

Define la Durabilidad como “la habilidad del concreto para resistir la acción del intemperismo, ataques químicos, abrasión, o cualquier otro tipo de deterioro”. Algunos investigadores prefieren decir que “es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción del medio ambiente que lo rodea; los ataques, ya sea químicos, físicos o biológicos, a los cuales puede estar expuesto; los efectos de la abrasión, la acción del fuego y las radiaciones: la acción de la corrosión y/o cualquier otro proceso de deterioro”. Comité 201 del American Concrete Institute (ACI), Indica que, el concreto es diseñado para una resistencia mínima a compresión.

Esta especificación de la resistencia puede tener algunas limitaciones cuando se especifica con una máxima relación agua cemento y se condiciona la cantidad de material cementante.

Es importante asegurar que los requisitos no sean mutuamente incompatibles o en algunos casos la relación agua/material cementante se convierte en las características más importante por tema de durabilidad. (Burg., S 1996). Indica que, en algunas especificaciones puede requerirse que el concreto cumpla con ciertos requisitos de durabilidad relacionados con congelamiento y deshielo, ataques químicos, o ataques por cloruros, casos en los que la relación agua cemento, el contenido mínimo de cemento y el uso de aditivos se convierten en pieza fundamental para el diseño de una mezcla de concreto.

Esto nos lleva a tener presente que una mezcla perfecta o diseñada bajo los criterios de durabilidad no producirá ningún efecto si no se llevan a cabo procedimientos apropiados de colocación, compactación acabado, protección y curado. (Burg., S 1996).

Diseño de Mezcla por el Método del ACI

Este procedimiento considera nueve pasos para el proporcionamiento de mezclas de concreto normal, incluidos el ajuste por humedad de los agregados y la corrección a las mezclas de prueba.

El primer paso contempla la elección del slump.

Se determina la resistencia promedio necesaria para el diseño; la cual está en función al $f'c$, la desviación estándar, el coeficiente de variación.

Cuando no se tiene registro de resistencia de probetas correspondientes a obras y proyectos anteriores.

Tabla 4: Selección de la resistencia de diseño cuando no se tengan registros

$F'c$	$F'CR$
MENOS DE 210	$f'c + 70$
210 - 350	$f'c + 84$
>350	$f'c + 98$

Fuente: Rivva López, 1992. “Diseño de mezclas”

Es necesario mencionar que las indicaciones de la tabla anterior son aplicables únicamente para concreto elaborados in situ y sometido a condiciones de curado no constantes, como es el caso de los elementos de concreto en una obra en ejecución, para el diseño de mezcla para la elaboración de los testigos para esta investigación no se consideró los factores de seguridad anteriormente descritos en la tabla, puesto que el curado se realizó en contenedores de agua que mantenían continuamente hidratados a los testigos.

Teniendo en cuenta el grado de control de calidad en la obra.

Tabla 5: Selección de la resistencia de diseño teniendo en consideración la calidad de la obra

Nivel de Control	f'cr
Regular o Malo	1.3 a 1.5 f'c
Bueno	1.2 f'c
Excelente	1.1 f'c

Fuente: Rivva López, 1992. "Diseño de mezclas"

Para determinar el f'cr propuesto por el comité europeo del concreto.

$$f'_{cr} = f'c / (1 - t * V)$$

Dónde:

f'cr = Resistencia promedio a calcular

V = Coeficiente de variación de los ensayos de resistencia a las probetas estándar.

T = Coeficiente de probabilidad de que 1 de cada 5, 1 de cada 10, 1 de cada 20 tengan un valor menor que la resistencia especificada.

La elección del tamaño máximo del agregado

Segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos.

Selección de la cantidad de agua por volumen unitario de concreto.

Como tercer paso, el informe presenta una tabla con los contenidos de agua recomendables en función del slump requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin y con aire incluido.

Selección de la relación agua/cemento

Como cuarto paso, el ACI proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera.

Determinación de la cantidad de cemento

El contenido de cemento se calcula con la cantidad de agua.

Determinación de la cantidad de agregado grueso

Para el sexto paso del procedimiento el ACI maneja una tabla con el volumen del agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Determinación de la cantidad de agregado grueso

Hasta el paso anterior se tienen estimados todos los componentes del concreto, excepto el agregado fino, cuya cantidad se calcula por diferencia.

Corrección de cantidad de materiales por humedad

El octavo paso consiste en ajustar las mezclas por humedad de los agregados.

Ajustes a la mezcla

El último paso se refiere a los ajustes a las mezclas de prueba.

Relave

Son los residuos resultantes del proceso de recuperación selectivo de ciertos minerales. El relave está compuesto por material sólido de tamaño muy pequeño, incluso menor al de la arena, y agua formando un compuesto similar al lodo.

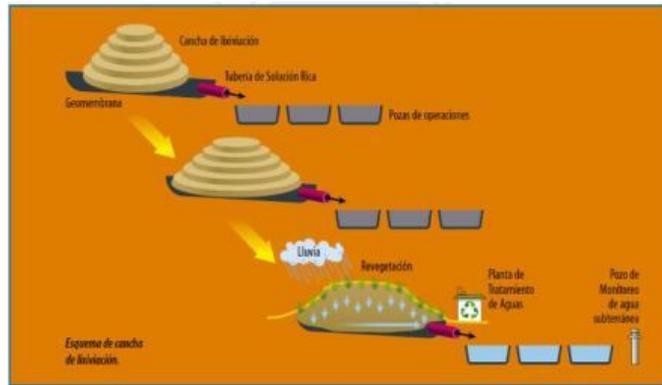


Gráfico 2: Esquema de cancha de lixiviación

Manejo de relaves

Históricamente el manejo de los relaves estaba en función de maximizar el rendimiento económico y se descargaban en los ríos y quebradas y a consecuencia de demandas judiciales por contaminación, se construyen presas de relaves, en primera instancia del tipo aguas arriba que posteriormente van evolucionando a tecnologías que garantizan un mejor manejo. En la actualidad, el manejo de relaves es probablemente el mayor problema ambiental que afronta la industria minera en general y la polimetálica en particular, para cumplir con las exigencias legales de límites máximos permisibles de emisiones. En el manejo de relaves hay que distinguir dos etapas: durante la operación y durante el cierre – post cierre. Durante la etapa de operación, normalmente se almacena en presas, recubierto con agua, la que es recirculada a la planta, y en la etapa de cierre se puede dar distintos tratamientos, siendo ésta la etapa más crítica desde el punto de vista ambiental y de costos.

Métodos de Manejo

Etapa de operación

La localización de la cancha de relaves es factor importante en la ubicación de una planta y debe estar cerca de ella para permitir el reciclaje del agua, así como minimizar o evitar descarga de efluentes fuera de la zona de almacenamiento y debe ser seleccionado en base a las siguientes prioridades:

- No ocupar causas de aguas de flujo permanente, arroyos, riachuelos o ríos.
- No deben estar ubicadas en cuencas sujetas a aluviones, huaycos o tormentas.

- Ubicarse en tierras de mínima permeabilidad y alta estabilidad.
- No ocupar áreas situadas aguas arriba de poblaciones o campamentos.
- No estar ubicadas en orillas de cuerpos lacustres o marinos El área requerida para la cancha de relaves varía en un amplio rango, dependiendo del volumen total del mineral tratado, la topografía del área escogido y de las alturas de los bancos que será requerido durante la vida de las operaciones. Los factores que limitan el almacenamiento de los relaves son:
 - La topografía y características del terreno
 - La protección del medio ambiente
 - La vida proyectada de la mina
 - Las condiciones climáticas
 - Las propiedades físicas y químicas de los relaves
 - Factores geológicos del suelo

Teniendo en consideración, las condicionantes mencionadas líneas arriba, la disposición de los relaves, pueden ser en represas; básicamente existen dos métodos de construcción de represas de relaves:

Método Aguas Arriba

La represa inicial se construye en la zona aguas abajo y es importante que esta represa inicial sea lo suficientemente permeable al paso de las aguas de filtración y que la porción aguas debajo de la represa sea diseñado para resistir los poros de agua y aire retenidos. Los relaves son descargados en la parte superior de la represa inicial usando mangueras o ciclones para desarrollar un dique compuesto de la fracción gruesa del relave. La línea central de la cresta de la represa se desplaza hacia el área de la laguna conforme aumenta la altura de la represa y el extremo aguas debajo de cada etapa subsiguiente, se apoya sobre la parte superior del dique de gruesos, junto con la porción aguas arriba del dique ubicado sobre los relaves finos, como resultado, la superficie exterior contribuye menos a la estabilidad conforme aumenta la altura.

La estabilidad de estas represas es pobre y puede fallar por licuefacción si es expuesta a un choque sísmico.

Las vibraciones pueden ser producidas por terremotos, explosiones, camiones pesados etc.

Método Aguas Abajo

En este método la línea central o cresta de la represa se desplaza aguas abajo conforme aumenta la altura de la represa. También se requiere de una represa inicial que debe ser impermeable, por esto la represa inicial, generalmente es construido con material prestado y compactado.

Cada etapa subsiguiente de la construcción del dique se apoya en la parte superior del talud aguas debajo de la sección anterior y si los relaves son empleados durante la etapa de la construcción, sólo deberá emplearse la parte gruesa. Antes de realizar una nueva extensión aguas abajo, deberá prepararse cama permeable de drenaje de por lo menos de 0.90 m de espesor o sistemas de canales alternativos para reducir la posibilidad de formación de poros de agua que son causantes de la reducción del esfuerzo al corte. Si la represa está ubicada en zonas sísmicas y/o su altura excediera los 15 m, deberá compactarse la extensión aguas abajo. Para minimizar la filtración, en represas construidas con relaves es recomendable que la cara aguas arriba sea sellada, frecuentemente con suelo impermeable o depositando la parte fina de los relaves sobre la cara del talud aguas arriba.

Justificación de la investigación

Mediante la presente investigación, se busca mejorar de manera específica la resistencia obtenida con el concreto, el que beneficiara en su totalidad a los habitantes del Distrito de San Marcos.

Debido a la problemática de los pasivos ambientales mineros, que actualmente representa una alteración al medio físico con el riesgo permanente de contaminación

ambiental, generando un impacto visual negativo y la continua contaminación producida por efectos climatológicos del medio físico circundante.

Una solución a algunos de los problemas de los agentes pasivos mineros es la aplicación de un valor agregado de manera directa al relave, que permita el uso de relave en la construcción, poca disponibilidad de materiales cerca del lugar de construcción y la disposición de desechos, existe una necesidad de optimizar el uso de los agregados, aglomerantes, equipo, mano de obra y recursos.

Para el uso de los relaves mineros como sustitución del cemento, los materiales deben estudiarse previamente para determinar si pueden ser utilizados y así ser procesados para diferentes tipos de construcciones, la cual deberá cumplir con determinadas especificaciones de tal forma que su utilización no sea causa de daños prematuros en las construcciones.

Justificación económica

El presente trabajo es factible de ser realizado, por el motivo que no representa un gasto exorbitante en su investigación. La utilización de relaves mineros como sustitución en porcentajes del cemento, permite economizar entre otros, el consumo de agregados, aglomerantes, equipo, y mano de obra y recursos.

Justificación social

La técnica de la utilización de relaves mineros como sustitución en porcentajes del cemento está cobrando auge en nuestro país y no siempre se cuenta con material bibliográfico que brinde información teórica completa, que pueda ser aplicada a estudios previos, al diseño y ejecución de diferentes proyectos a ejecutarse. De aquí sale la necesidad de contar con un manual que recolecte la información de las maneras de utilizar el relave minero. Dando así a conocer esta técnica, contribuyendo también al desarrollo técnico de la ingeniería en esta área de nuestro país.

En definitiva un mejor uso del conocimiento nos va a permitir actuar con mayor agilidad en las decisiones a tomar, con mayor certeza, exactitud y con una visión de mayor alcance en cuanto al impacto de la misma; disponiendo de una mayor capacidad

de conocimiento y raciocinio en base a la mejor información, en consecuencia se hace imperativo nuestra capacidad comprensiva, en este caso a través de la información recopilada en esta presente investigación, ofreciendo a futuros estudiantes un material de consulta, que les permita conocer los diferentes procedimientos y criterios que se debe considerar en el estudio relaves relacionado con concreto.

Justificación ambiental

La creciente sensibilización social acerca de la necesidad de preservar el medio ambiente ha hecho que la legislación sea hoy mucho más proteccionista que en el pasado.

Esto dificulta la obtención de materias primas adecuadas, aumentando su costo y el de su transporte hasta la obra, ya que casi nunca se producen en el lugar donde se necesitan. Ante ello surge la necesidad de búsqueda de una técnica que permita mitigar el impacto ambiental.

Formulación del problema

La ingeniería civil y los materiales de construcción se han desarrollado considerablemente a partir de la segunda mitad del siglo XX. Los países pobres y en vías de desarrollo hacen grandes esfuerzos para desarrollar tecnologías que les permitan aprovechar sus vastos recursos naturales y generar sus propios materiales de construcción.

En el distrito de San Marcos encontramos relaves mineros activos, este material no tiene la misma forma, es un material no útil ya que no se conoce sus múltiples propiedades y se pueda emplear en la necesidad del ser humano.

Por estos motivos para lograr una mayor durabilidad y resistencia es necesario elaborar un concreto de Alta resistencia teniendo un control de la influencia de relaves mineros como sustitución en porcentajes de cemento en su composición y que esté al alcance de la población.

Por lo expuesto nos planteamos el siguiente problema de investigación:

¿Cuál es la resistencia de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ cuando se sustituye un 5%, 10% y 15% del cemento por relave de la Minera Antamina, ubicado en el Distrito de San Marcos, Provincia de Huari - Ancash?

Variable independiente

Tabla 6: Conceptuación de variable independiente

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicador
Resistencia del concreto	Es el esfuerzo máximo que puede soportar un material bajo una carga de aplastamiento.	Es el esfuerzo máximo que puede soportar una probeta de concreto bajo una carga 210 Kg ; y que considera los siguientes aspectos.	Kg/cm^2

Fuente: Elaboración propia

Variable dependiente

Tabla 7: Conceptuación de variables dependientes

Variable	Definición operacional	Indicador
Sustitución del cemento por relave minero	Sustitución del cemento por relave minero para la obtención de un concreto de $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$	Concreto con relave al 5%, 10% y 15%

Fuente: Elaboración propia

Hipótesis:

Sustituyendo el 5%, 10% y 15% del cemento por relave minero de la “Antamina”, se logrará obtener resistencias a la compresión superiores a un concreto convencional de diseño $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$

Objetivos:**Objetivo general:**

Determinar la resistencia a la compresión del concreto $F' C = 210 \text{ kg/cm}^2$, cuando se sustituye 5%, 10%, 15% de cemento por relave minero de la “Minera Antamina”.

Objetivos específicos:

- Realizar la caracterización del relave minero producido por la mina Antamina en el Distrito de San Marcos.
- Determinar el pH del relave minero, del cemento, de la combinación de cemento al 95% + relave 5%, de la combinación de cemento al 90% + relave 10% y de la combinación de cemento al 85% + relave 15%.
- Determinar la composición química expresada como óxidos del relave minero producido por la mina Antamina en el Distrito de San Marcos a través del método de la espectroscopia de fluorescencia de rayos X.
- Determinar la relación agua/cemento del concreto patrón y concretos experimentales mediante el diseño de mezcla por el método del ACI.
- Determinar la resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días del concreto patrón y experimentales con sustitución del cemento por relave minero al 5%, 10% y 15%, posteriormente realizar el análisis estadístico (prueba ANOVA) de las resistencias obtenidas.

II. METODOLOGIA

Métodos: El método de investigación que se aplica es la Experimentación, ya que se utilizan nuevo tipo de material para la elaboración de concreto, aplicando relave minero, en la sustitución del cemento en el diseño de mezcla del concreto de concreto, y en lo cual lo compararemos con un diseño patrón de concreto.

El método experimental se apoya en pruebas, ensayos, repetición, laboratorio especializados. La mayor parte del estudio, se realizara en el laboratorio, observando y debatiendo los resultados obtenidos.

Por ende se diría que nuestra investigación está orientada al nivel “Experimental”. Ya que trataremos de buscar un material el cual haga que dicho ladrillo, sea una unidad de albañilería aceptable para su uso de acuerdo a la Norma Técnica Peruana, y a la vez el costo sea más accesible para la población.

Se empleara el método e la observación porque se tomara datos mediante una Guía de Observación.

Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada y explicativa, porque los resultados obtenidos Servirán para la solución de problemas relacionados a la construcción, mejorando así las propiedades del concreto tales como: Resistencia a la Compresión, ductilidad y trabajabilidad.

Enfoque de investigación

Cuantitativo, porque se estudia las variables y sus indicadores objetivamente midiendo y registrando sus valores respuesta en los instrumentos de recolección de datos (guías de observación). Hipótesis serán demostradas por procedimientos matemáticos y estadísticos.

Diseño de investigación

Es un diseño experimental porque es un proceso en el cual estudiaremos el diseño convencional del concreto en comparación con el nuevo diseño elaborado con sustitución del cemento por relave minero, el estudio en su mayor parte se concentrará en las pruebas realizadas en el Laboratorio de Suelos, donde el investigador estará en contacto con los ensayos a realizar obteniendo resultados de acuerdo a lo planeado en sus objetivos. Siendo su diseño de investigación el siguiente:

Diseño de bloque completo al azar

Tabla 8: Diseño de bloque completo al azar de la investigación

DIAS DE CURADO	RESISTENCIA DEL CONCRETO			
	0%	5%	10%	15%
7				
				
				
				
14				
				
				
				
28				
				
				
				

Fuente: Elaboración propia

Población y muestra

Población:

Las probetas de concreto de $F'c=210$ kg/cm² elaborados con agregados de la Cantera de Tacllan y con cemento portland tipo I

Muestra:

Las 36 probetas de un concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ por cada porcentaje de adición, distribuida de la siguiente manera:

- 9 probetas de control (0% de sustitución - patrón)
- 9 probetas experimental (5 % de sustitución)
- 9 probetas experimental (10 % de sustitución)
- 9 probetas experimental (15% de sustitución)

Técnicas e instrumentos de investigación

Tabla 9: Técnicas e instrumentos de investigación

Técnicas de Recolección de información	Instrumento
La observación	Ficha de Observación de laboratorio de mecánica de suelo

Fuente: Elaboración propia

Procesamiento y análisis de la información

Para la recolección de datos se realizó los siguientes pasos:

- Obtención de las resistencias a la compresión del concreto patrón y concretos experimentales mediante ensayos de compresión axial.
- El análisis se realizó con tablas, gráficos, promedios, porcentajes, varianzas, prueba de hipótesis (ANOVA).

III. RESULTADOS

Características del relave minero

La caracterización del relave minero producido por la mina Antamina en el Distrito de San Marcos, Provincia de Huarí, Departamento de Ancash, se realizó mediante la determinación del peso específico del material que pasó la malla N°200, material que fue empleado en la elaboración de los concretos experimentales mediante la sustitución del cemento en 5%, 10% y 15%.

Los ensayos fueron realizados en estricto cumplimiento de la norma ASTM C 188-95, norma que establece los lineamientos para la determinación del peso específico del cemento. Los resultados obtenidos en el laboratorio de la USP – Huaraz se anexan en el apartado VIII del presente, a continuación, se muestra un resumen de los pesos específicos.

Tabla 10: Peso específico del relave y combinaciones con el cemento

Material	Peso Específico (gr/cm³)
Relave minero al 100%	4.505
Cemento al 95% + Relave al 5%	3.115
Cemento al 90% + Relave al 10%	3.135
Cemento al 85% + Relave al 15%	3.165

Fuente: Ensayo p.e. – Lab. USP-Huaraz

pH del cemento, relave y combinaciones

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 presento fue el cemento sin ninguna adición, alcanzando esta un valor de 12.13. A continuación se muestra el resumen de los ensayos realizados para su mayor apreciación:

Tabla 11: Alcalinidad del cemento, relave minero y combinaciones

Muestra	pH	Calificación
Cemento	12.13	Extremadamente Alcalino
Relave	10.49	Extremadamente Alcalino
Cemento al 95% + Relave 5%	12.11	Extremadamente Alcalino
Cemento al 90% + Relave 10%	12.08	Extremadamente Alcalino
Cemento al 85% + Relave 15%	12.05	Extremadamente Alcalino

Fuente: Ensayo pH – Lab. UNASAM

Composición química del relave de la mina Antamina

Para la determinación de la composición química del relave minero 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 relave minero de la Mina Antamina, los aspectos evaluados fueron las cantidades de Óxidos de Calcio y Oxido de Silicio, los cuales se encontraron en porcentajes de 30.498% y 31.561% respectivamente, asciendo un total de 62.059%.

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 12: Composición química del relave minero a nivel de óxidos

Oxido	Descripción	Concentración % masa
Al ₂ O ₃	Oxido de aluminio	2.381
SiO ₂	Oxido de silicio	31.561
SO ₂	Dióxido de azufre	3.462
K ₂ O	Oxido de potasio	0.812

CaO	Oxido de calcio	30.498
TiO	Oxido de titanio	0.191
Cr ₂ O ₃	Oxido de cromo	0.008
MnO	Oxido de manganeso	0.219
Fe ₂ O ₃	Óxido de hierro	7.079
Ni ₂ O ₃	Oxido de níquel	0.003
CuO	Oxido de cobre	0.052
ZnO	Óxido de zinc	0.070
Ga ₂ O ₃	Oxido de galio	0.006
As ₂ O ₃	Trióxido de arsénico	0.011
Rb ₂ O	Oxido de rubidio	0.002
SrO	Oxido de estroncio	0.017
ZrO ₂	Dióxido de zirconio	0.019

Fuente: Resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Universidad Mayor de San Marcos

Relación a/c del concreto patrón y experimentales

La determinación de la relación agua/cemento para la elaboración del concreto patrón y concretos experimentales fue fundamental en el desarrollo de la investigación, la obtención de estos números adimensionales se realizó mediante la utilización de la tabla que se adjunta en el anexo A.3 del presente, es necesario mencionar que la determinación de la relación agua/cemento se realiza mediante la utilización de la tabla anteriormente mencionada, que se encuentra únicamente en función a la resistencia a la compresión promedio (f'_{cr}), para mayor entendimiento se recomienda revisar la tabla. A continuación, se resume la relación a/c adoptada para el concreto patrón y concretos experimentales:

Tabla 13: Relación a/c del concreto patrón y experimentales

Concreto elaborado con	Cantidad de agua (Kg/m ³)	Cantidad de Cemento (Kg/m ³)	Relación A/C
Cemento al 100%	205.000	303.254	0.67600000
Cemento al 95% + relave al 5%	205.000	305.270	0.67153667
Cemento al 90% + relave al 10%	205.000	307.230	0.66725255
Cemento al 85% + relave al 15%	205.000	310.170	0.66092788

Fuente: Resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Universidad Privada San Pedro

La obtención de las cantidades de materiales para la elaboración de los testigos de concreto se realizó mediante el diseño de mezcla por el método del ACI, habiéndose realizado previamente el estudio de agregados, cuyos resultados a manera de resumen se muestran a continuación:

Propiedades del agregado grueso

- Contenido de Humedad: 1.11%, correspondiente al momento de la preparación del concreto.
- Porcentaje de absorción: 0.90%
- Peso específico de masa: 2.64 T/m³
- Peso unitario suelto: 1527 Kg/m³
- Peso unitario compactado: 1646 Kg/m³
- Granulometría:

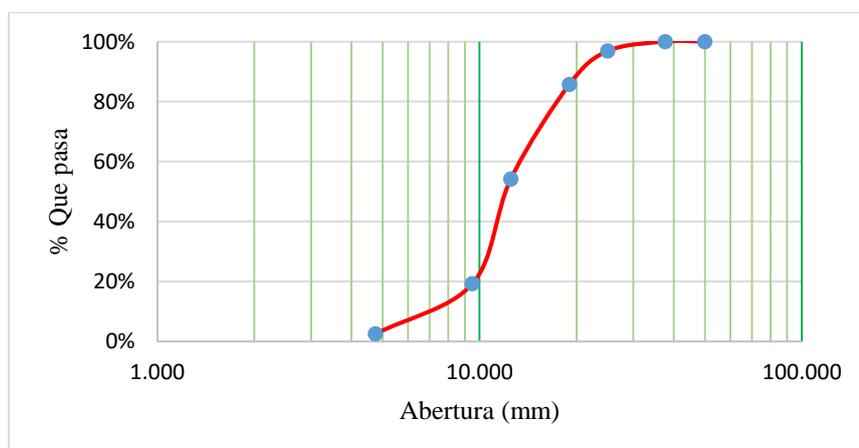


Gráfico 3: Curva granulométrica del agregado grueso

Fuente: Resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Universidad Privada San Pedro

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

Propiedades del agregado fino

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

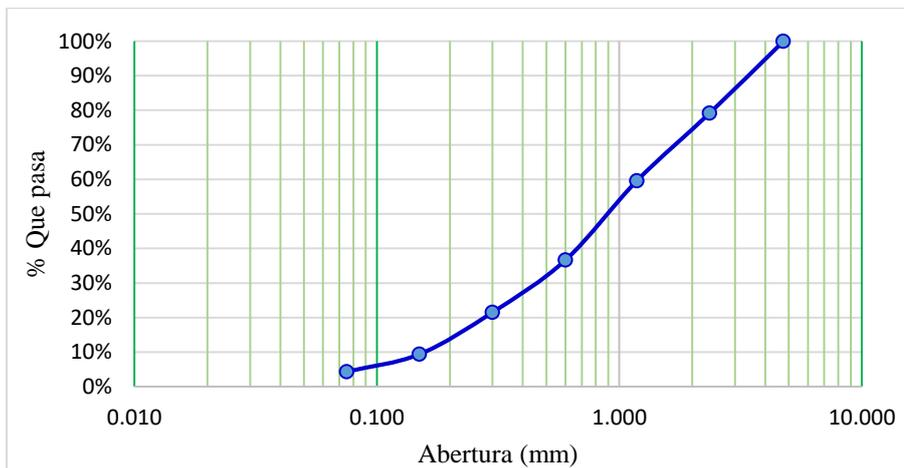


Gráfico 4: Curva granulométrica del agregado fino

Fuente: Resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Universidad Privada San Pedro

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 considerará como 3.00 por ser mínima la variación.

Cantidad de materiales para el concreto patrón

La cantidad de cemento, agua, agregado grueso y agregado fino por metro cubico de concreto para un $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$, 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

Cantidad de materiales para los testigos experimentales

Las cantidades de cemento, agregado grueso, agregado fino y agua para la preparación del concreto fueron determinadas mediante el diseño de mezcla por el método del ACI, a partir de ello se pudo determinar las cantidades de relave minero de acuerdo a los porcentajes de sustitución establecidos, 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 y relave minero:

Tabla 14: Cantidades de materiales por unidad de probeta

Combinaciones	A. grueso (Kg)	A. fino (Kg)	Agua (L)	Cemento (Kg)	Relave (Kg)
Cemento al 100%	5.29	4.33	0.93	1.61	0.00
Cemento al 95% + Relave al 5%	5.29	4.32	0.93	1.54	0.08
Cemento al 90% + Relave al 10%	5.29	4.32	0.93	1.47	0.16
Cemento al 85% + Relave al 15%	5.29	4.32	0.93	1.40	0.25

Fuente: Elaboración propia

Resistencia a la compresión del concreto patrón y experimentales

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos de compresión axial realizada en las instalaciones del Laboratorio de mecánica de suelos de la USP - Huaraz, en estas se puede apreciar las resistencias obtenidas por cada tipo de concreto analizado:

- Concreto patrón: Elaborado con el 100% de cemento calculado en el diseño de mezcla, siendo la resistencia de diseño $f^c=210 \text{ Kg/cm}^2$, se alcanzó una resistencia $f^c=210.77 \text{ Kg/cm}^2$, siendo con ello un 0.99% mayor a lo proyectado. En las tablas 15, 16 y 17 se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado (7, 14 y 28 días)
- Concreto experimental 1: Elaborado con el 95% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 5% de relave que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia $f^c=230.50 \text{ Kg/cm}^2$, siendo con ello un 9.36% mayor al concreto patrón. En las tablas 15, 16 y 17 se aprecia las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado (7, 14 y 28 días)
- Concreto experimental 2: Elaborado con el 90% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 10% de relave que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia $f^c=234.46 \text{ Kg/cm}^2$, siendo con ello un 11.24% mayor al concreto patrón. En las tablas 15, 16 y 17 se aprecia las resistencias obtenidos a las 3 edades de curado (7, 14 y 28 días)
- Concreto experimental 3: Elaborado con el 85% de cemento calculado en el diseño de mezcla más un 15% de relave que sustituye al cemento, se alcanzó una resistencia $f^c=232.28 \text{ Kg/cm}^2$, siendo con ello un 10.51% mayor al concreto patrón. En las tablas 15, 16 y 17 se aprecia las resistencias obtenidos a las 3 edades de curado (7, 14 y 28 días)

Tabla 15: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 7 días de edad

Probeta	% de Relave	Ø cm	h cm	V m ³	Peso húmedo después del curado (Kg)	Peso seco (Kg)	Área cm ²	Carga (P) Kg	Esfuerzo de Compresión kg/cm ²	% de resistencia respecto al f'c patrón	f'c promedio kg/cm ²
1	0%	15.00	30	0.005301	13.234	13.005	176.71	28630	162.00	77.20	162.21
2		15.00	30	0.005301	13.221	12.990	176.71	28670	162.30	77.30	
3		15.00	30	0.005301	13.118	12.890	176.71	28690	162.40	77.30	
4	5%	15.00	30	0.005301	13.119	12.890	176.71	29130	164.90	78.50	164.86
5		15.00	30	0.005301	13.321	13.080	176.71	29140	164.90	78.50	
6		15.00	30	0.005301	13.245	13.005	176.71	29120	164.80	78.50	
7	10%	15.00	30	0.005301	13.217	12.990	176.71	29420	166.50	79.30	166.59
8		15.00	30	0.005301	13.291	13.060	176.71	29460	166.70	79.40	
9		15.00	30	0.005301	13.292	13.060	176.71	29430	166.60	79.30	
10	15%	15.00	30	0.005301	13.244	13.005	176.71	29380	166.30	79.20	166.20
11		15.00	30	0.005301	13.220	12.990	176.71	29350	166.10	79.10	
12		15.00	30	0.005301	13.293	13.060	176.71	29370	166.20	79.10	

Fuente: Elaboración Propia

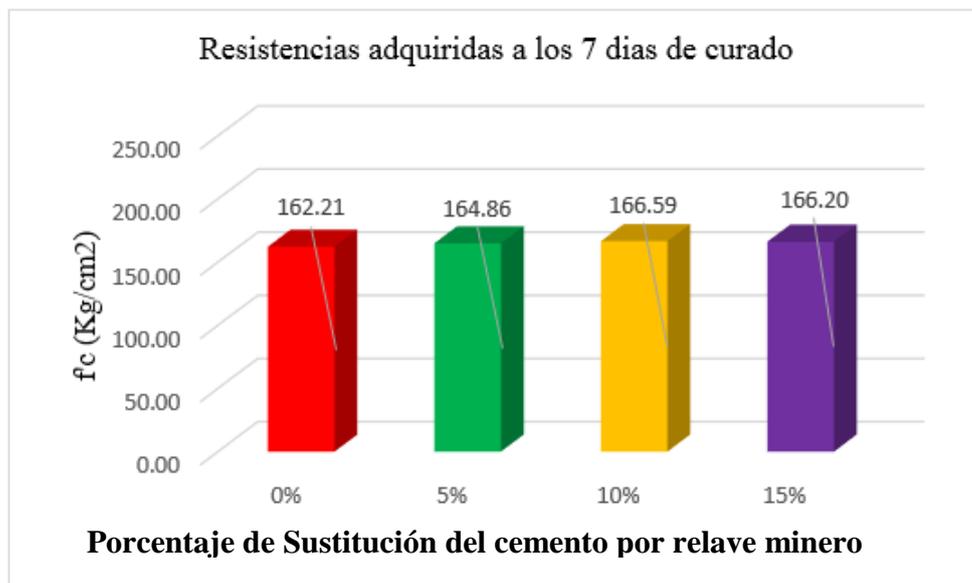


Gráfico 5: Resistencia a la Compresión a los 7 días de edad

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 16: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 14 días de edad

Probeta	% de Relave	Ø cm	h cm	V m ³	Peso húmedo después del curado (Kg)	Peso seco (Kg)	Área cm ²	Carga (P) Kg	Esfuerzo de Compresión kg/cm ²	% de resistencia respecto al f'c patrón	f'c promedio kg/cm ²
1	0%	15.00	30	0.005301	13.239	13.070	176.71	33610	190.20	90.60	190.32
2		15.00	30	0.005301	13.352	13.100	176.71	33650	190.40	90.70	
3		15.00	30	0.005301	13.134	13.008	176.71	33630	190.30	90.60	
4		15.00	30	0.005301	13.119	12.990	176.71	33990	192.40	91.60	
5	5%	15.00	30	0.005301	13.332	13.100	176.71	33970	192.20	91.50	192.30
6		15.00	30	0.005301	13.265	12.980	176.71	33980	192.30	91.60	
7		15.00	30	0.005301	13.234	13.005	176.71	34370	194.50	92.60	
8	10%	15.00	30	0.005301	13.321	12.990	176.71	34320	194.20	92.50	194.36
9		15.00	30	0.005301	13.310	13.100	176.71	34340	194.30	92.50	
10		15.00	30	0.005301	13.319	13.005	176.71	34160	193.30	92.10	
11	15%	15.00	30	0.005301	13.311	12.990	176.71	34150	193.30	92.00	193.25
12		15.00	30	0.005301	13.265	13.100	176.71	34130	193.20	92.00	

Fuente: Elaboración Propia.

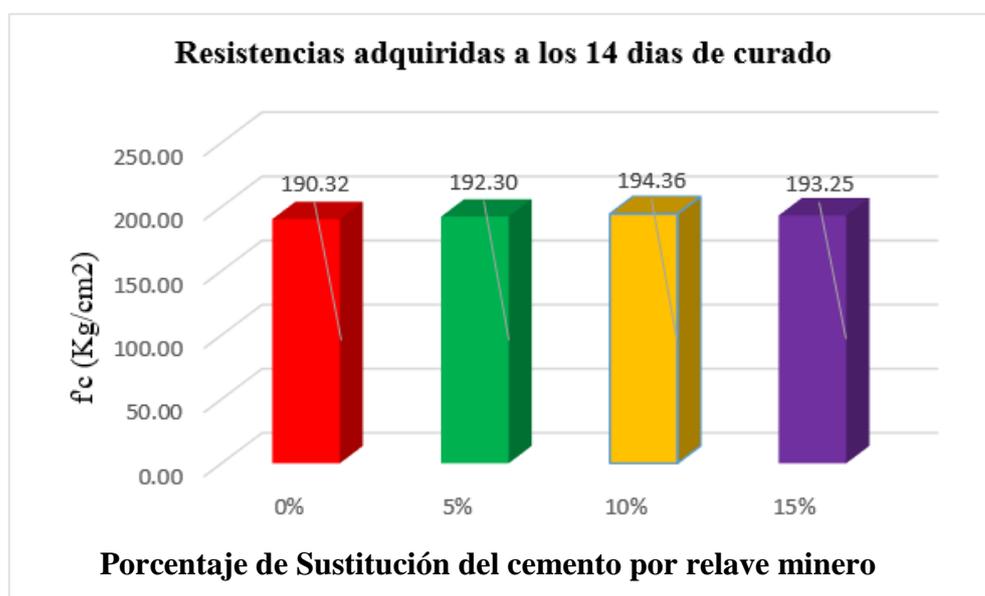


Gráfico 6: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 14 días de edad.

Fuente: Resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Universidad Privada San Pedro

Tabla 17: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 28 días de edad

Probeta	% de Relave	Ø cm	h cm	V m ³	Peso húmedo después del curado (Kg)	Peso seco (Kg)	Área cm ²	Carga (P) Kg	Esfuerzo de Compresión kg/cm ²	% de resistencia respecto al f'c patrón	f'c promedio kg/cm ²
1	0%	15.00	30	0.005301	13.236	13.030	176.71	37240	210.80	100.40	210.79
2		15.00	30	0.005301	13.358	12.998	176.71	37290	211.00	100.50	
3		15.00	30	0.005301	13.132	12.992	176.71	37210	210.60	100.30	
4		15.00	30	0.005301	13.123	13.008	176.71	40710	230.40	109.70	
5	5%	15.00	30	0.005301	13.328	13.005	176.71	40740	230.60	109.80	230.52
6		15.00	30	0.005301	13.215	13.120	176.71	40750	230.60	109.80	
7	10%	15.00	30	0.005301	13.265	13.005	176.71	41420	234.40	111.60	234.48
8		15.00	30	0.005301	13.321	13.120	176.71	41450	234.60	111.70	
9		15.00	30	0.005301	13.312	13.008	176.71	41430	234.50	111.70	
10	15%	15.00	30	0.005301	13.322	13.120	176.71	41050	232.30	110.60	232.30
11		15.00	30	0.005301	13.367	13.008	176.71	41030	232.20	110.60	
12		15.00	30	0.005301	13.228	13.005	176.71	41060	232.40	110.70	

Fuente: Elaboración Propia.

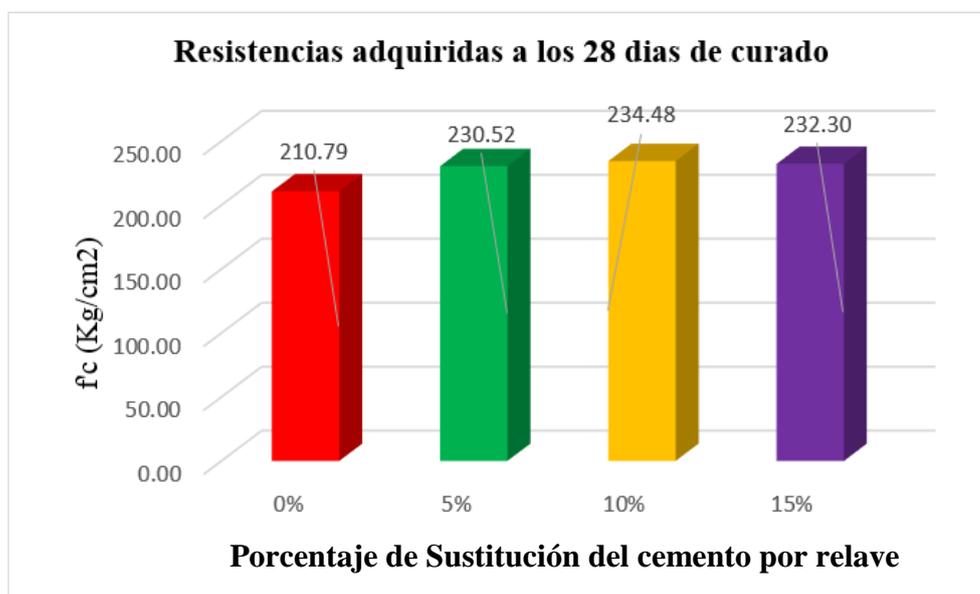


Gráfico 7: Ensayo de Resistencia a la Compresión a los 28 días de edad

Fuente: Resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Universidad Privada San Pedro

Tabla 18: Comparación de las Resistencias a la Compresión del Concreto Patrón y Experimentales

DÍAS	RESISTENCIA PATRÓN - 0%	EXPERIMENTAL AL 5%	EXPERIMENTAL AL 10%	EXPERIMENTAL AL 15%
7	162.20	164.84	166.58	166.18
14	190.31	192.29	194.34	193.23
28	210.77	230.50	234.46	232.28

Fuente: Elaboración Propia.

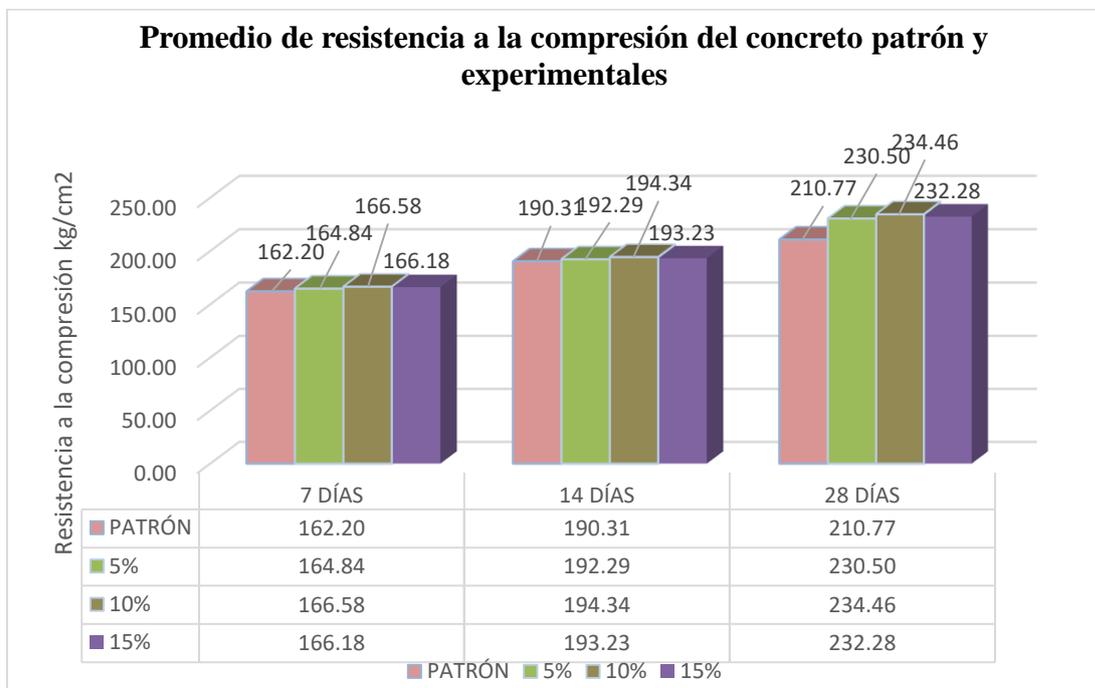


Gráfico 8: Resistencia a la compresión a los 28 días

Fuente: Resultados del ensayo realizado en los laboratorios de la Universidad Privada San Pedro

Diseño de bloques completos al azar (DBCA)

Modelo Aditivo Lineal

$$\gamma_{ij} = \mu + \beta_j + \tau_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

γ_{ij} : Valor observado en la unidad experimental

μ : Efecto de la media general

β_j : Efecto del j-esimo bloque j:1,2,3

τ_i : Efecto del i-esimo tratamiento i:1,2,3,4,5.

ϵ_{ij} : Efecto aleatorio del error experimental

Análisis de Varianza

Fórmulas de análisis de varianza (ANOVA)

Tabla 19: Fórmulas de análisis de varianza (ANOVA)

FV	GL	SC	CM	Fcal
Bloques	(b-1)	$\Sigma x^2.j/t - (\Sigma x)^2/bt$	$Sc_b/b-1$	CM_b/CMe
Tratamientos	(t-1)	$\Sigma x^2.i./b - (\Sigma x)^2/bt$	$Sc_t/t-1$	CM_t/CMe
Error Experimental	(b-1)(t-1)	$Sc_{total} - Sc_{bloque} - Sc_{tratamiento}$	$Sce/(b-1)(t-1)$	
Total	bt-1	$\Sigma x^2.. - (\Sigma x)^2/bt$		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Análisis de varianza para determinar las diferencias de las resistencias de los concretos patrón y experimentales $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	gl	Promedio de los cuadrados	F	Prob	Valor crítico para F
Días	7732.850	2	3866.425	136.792	0.05	5.143
Tipos de concreto	210.076	3	70.025	2.477	0.05	4.757
Error	169.590	6	28.265			
Total	8112.517	11				

Fuente: Elaboración propia.

Al ser los valores de la Probabilidad menores que 0.05 y la $F_{calculada} > F_{crítico}$, tal como se puede observar en la presente Tabla ($136.792 > 5.143$ y $2.477 < 4.757$), indica que existen diferencias significativas entre las resistencias a la compresión del concreto patrón y las experimentales con la sustitución de cemento en un 5, 10 y 15% por relave de mina Antamina.

IV. ANALISIS Y DISCUSION

De acuerdo a los resultados de las características del relave minero del capítulo II se puede establecer al relave minero como un material más pesado que el cemento, evidencia de ello es que el peso específico de este material es 4.505 g/cm³, en comparación del cemento portland tipo I que es de 3.11 g/cm³.

De acuerdo a los ensayos de laboratorio realizados se determinó que el peso específico de la combinación de cemento al 95% + relave al 5% es de 3.115 g/cm³, de la combinación de cemento al 90% + relave al 10% es de 3.135 y de la combinación de cemento al 85% + relave al 15% es de 3.165 g/cm³, de estos resultados se puede deducir que conforme se aumenta la cantidad de relave minero, la combinación de cemento y relave se vuelve más pesada, siendo claramente entendible ello debido a que se está sustituyendo al cemento por un material más pesado.

El aumento del peso específico influye de manera positiva en la relación agua/cemento mediante el aumento del peso del cemento, con lo que se obtiene menores valores de la relación y por ende mayores resistencias, este tema se desarrolla con mayor detalle en el análisis y discusión del presente capítulo.

Los ensayos realizados para la medición de la potencia al del hidrógeno del relave minero determinaron que pese a ser el material más ácido en comparación al cemento, el relave minero puede ser utilizado con plena libertad en la elaboración del concreto debido a que el pH de este material es de 10.49, bastante superior al mínimo requerido que es de 7.00.

Por otra parte, habiéndose evaluado los niveles de pH de la combinación de cemento al 95% + Relave al 5% se encontró que este alcanzaba un valor de 12.11, la combinación de cemento al 90% + relave al 10% alcanzo un valor de 12.08 y la combinación de cemento al 85% + relave al 15% alcanzo un valor de 12.05, encontrándose todos dentro de los límites de acidez permisibles, por lo que su

utilización no compromete la conservación y desenvolvimiento estructural del concreto.

Volviendo al componente del concreto del capítulo I y Ph del cemento, relave y combinaciones del capítulo II donde se describe la composición química del cemento y el relave minero respectivamente, se puede analizar los componentes químicos que tanto el cemento como el relave tienen en común, para en función a ello determinar el porqué de las mejoras en la resistencia a la compresión, en el siguiente cuadro se muestra se muestra dichas igualdades:

Tabla 21: Porcentaje de concentración de óxidos en el cemento y relave minero

Oxido	Concentración % masa en el cemento	Concentración % masa en el relave	Influencia en el concreto
Al ₂ O ₃	6.50	2.381	Interviene en el tiempo de fraguado y la consecución de altas resistencias a la compresión
SiO ₂	21.00	31.561	Por la alta concentración en el relave, este proporciona mayores resistencias al concreto y a la vez le otorga mayor insolubilidad a la masa de concreto al entrar en contacto con el agua.
SO ₂	2.00	3.462	Reacciona con la humedad dentro de los poros de concreto y convierte el hidróxido de calcio a carbonato de calcio el cual contiene un pH más neutral.
CaO	62.50	30.498	Por el bajo contenido, retrasa el tiempo de fraguado y disminuye la resistencia a la compresión
Fe ₂ O ₃	2.50	7.079	Acelera el tiempo de fraguado e influye en la adquisición de mayores resistencias a tempranas edades de curado por el alto contenido en el relave.

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro anterior se puede evidenciar que los óxidos de mayor influencia en el cemento (CaO y SiO₂) son los que también se encuentran presentes en el relave en mayores porcentajes, es necesario mencionar que la combinación del CaO y el SiO₂

dan origen al silicato bicalcico y tricalcico, los cuales son los encargados de proporcionar la resistencia al concreto a tempranas y tardías edades de curado.

Las relaciones agua/cemento determinados en el capítulo II fueron 0.676, 0.671, 0.667, 0.661 para el concreto patrón, para el concreto experimental con 5%, 10% y 15% de relave minero respectivamente, de estos valores se puede deducir que el concreto con menor relación agua/cemento será aquel que proporcione la mayor resistencia y aquel con mayor relación será aquel que proporcione la menor resistencia, por ende, se deduce que las resistencias a la compresión de los concreto experimentales irán aumentando progresivamente en relación al concreto patrón conforme se aumente los porcentajes de relave minero.

En el siguiente grafico se tiene una mejor apreciación de la influencia de las relaciones agua/cemento en la resistencia $f'c$ del concreto patrón y experimentales.

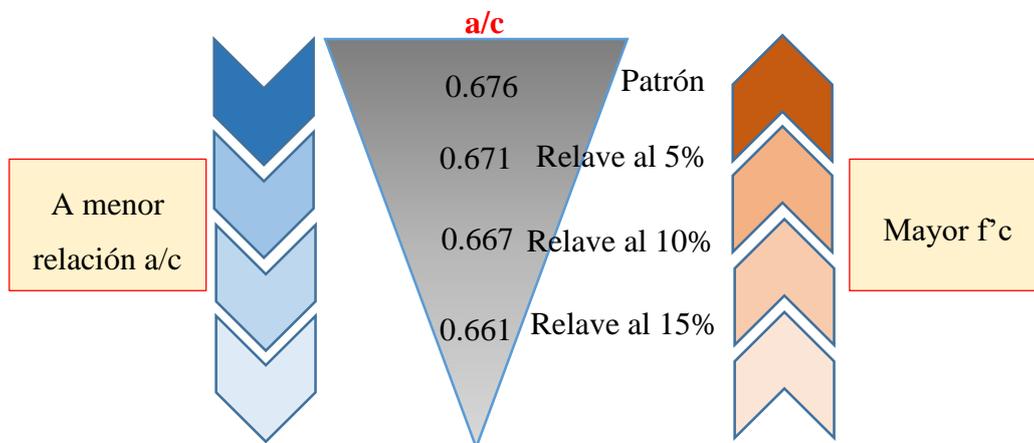


Gráfico 9: Variación de la resistencia $f'c$ en función a la relación a/c

Fuente: Elaboración propia

Es necesario mencionar que la relación agua/cemento de los concretos experimentales favoreció la obtención de mayores resistencias a la compresión, pero este no asegura que en todos los casos se obtengan mayores resistencias debido a que ello no depende únicamente de la relación a/c sino también de las reacciones químicas que genera el relave minero conjuntamente con el cemento al hidratarse.

Los ensayos de compresión axial de las probetas 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 relave minero que sustituían al cemento.

De acuerdo a los resultados detallados en el capítulo II, se he podido deducir que es factible realizar la sustitución del cemento por relave minero producido por la mina Antamina en el Distrito de San Marcos, esto en los porcentajes de 5%, 10% y 15%, presentándose un mejor comportamiento mecánico del concreto a los 28 días de curado en condiciones normales con la sustitución al 10%, la resistencia máxima alcanzada fue de $f'c=234.48 \text{ Kg/cm}^2$, siendo esto el 111.66% de la resistencia de diseño ($f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$). Por otra parte, la menor resistencia obtenida corresponde a la sustitución al 5% del cemento por el relave, alcanzándose un $f'c=230.52 \text{ Kg/cm}^2$, aun en este caso, la resistencia obtenida ha sido superior al proporcionado por el concreto patrón, representando el 109.77% en relación del $f'c$ patrón. Estos resultados son mejor apreciados en los siguientes gráficos:

Concreto patrón

Gráfico 10, la curva de resistencia adquirida por el concreto versus los días de curado, se puede apreciar el aumento de resistencia progresiva conforme aumentan los días de curado, la resistencia máxima obtenida a los 28 días de curado es $f'c = 210.79 \text{ Kg/cm}^2$.



Gráfico 10: Resistencia Vs. días de curado del concreto patrón
Fuente: Ensayos de compresión axial – Lab. USP Huaraz

Concreto con cemento al 95% + relave al 5%

Gráfico 11, se observa dos curvas de resistencia a la compresión versus días de curado, la curva azul corresponde al concreto patrón (Concreto relave al 0%) y la curva mostaza oscura al concreto con relave al 5%. Se puede apreciar de manera notoria que al sustituirse el cemento por relave minero en un 5% se adquieren resistencias superiores a las mismas edades de curado.

Es necesario mencionar que a los 7 días de curado se alcanzó resistencias a la compresión similares, tanto así que solo existe una variación de + 2.65 Kg/cm², a los 14 días también se tiene una pequeña variación de + 1.98 Kg/cm², pero a los 28 días se han obtenido resistencias bastante superiores por parte del concreto con cemento sustituido por relave al 5%, siendo la variación de + 19.73 Kg/cm².

La justificación de este comportamiento se sustenta en la composición química del relave de la Mina Antamina del presente capítulo.

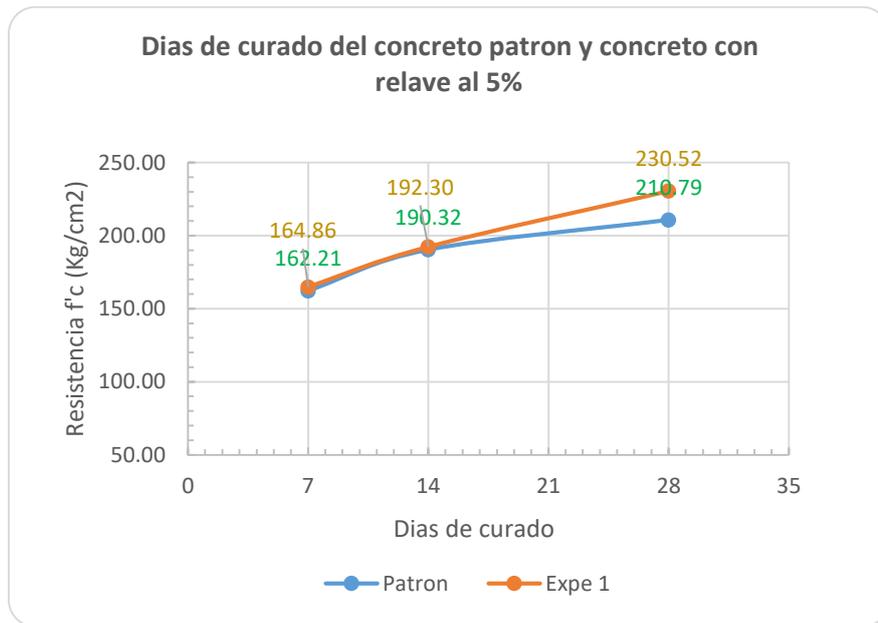


Gráfico 11: Días de curado del concreto patrón y concreto con relave al 5%
Fuente: Ensayos de compresión axial – La. USP Huaraz

Concreto con cemento al 90% + relave al 10%

Gráfico 12, se observa dos curvas de resistencia a la compresión versus días de curado, la curva azul corresponde al concreto patrón (Concreto relave al 0%) y la curva roja al concreto con relave al 10%. Se puede apreciar de manera notoria que al sustituirse el cemento por relave minero en un 10% se adquiere resistencias superiores en relación al concreto patrón.

La justificación de este comportamiento se sustenta en la composición química del relave de la Mina Antamina del presente capítulo.

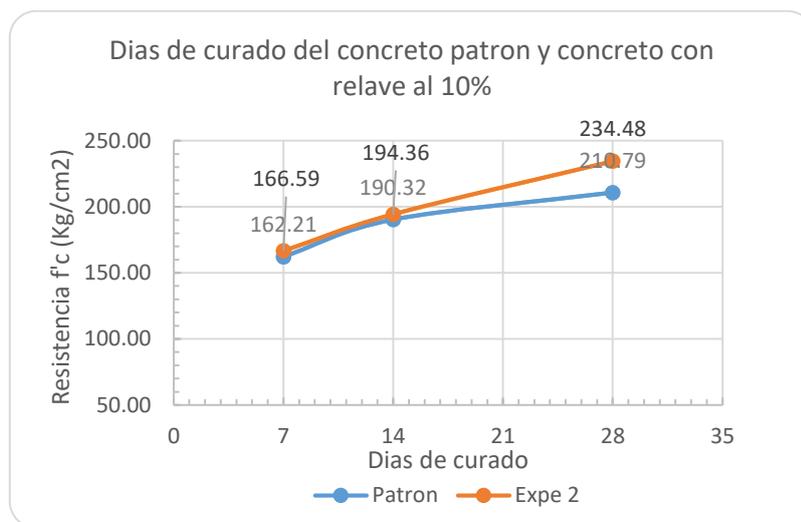


Gráfico 12: Días de curado del concreto patrón y concreto con relave al 10%
Fuente: Ensayos de compresión axial – Lab. USP Huaraz

Concreto con cemento al 85% + relave al 15%

Gráfico 13, se observa dos curvas de resistencia a la compresión versus días de curado, la curva azul corresponde al concreto patrón (Concreto relave al 0%) y la curva roja al concreto con relave al 15%. Se puede apreciar de manera notoria que al sustituirse el cemento por relave minero en un 15% se adquiere resistencias superiores en relación al concreto patrón.

En este caso es necesario hacer hincapié en cuanto a la resistencia adquirida a los 28 días de curado, pues es notorio que la resistencia ha disminuido en relación al concreto con cemento sustituido al 10%, aunque pese a ello la resistencia adquirida por el concreto con cemento sustituido al 15% es superior en relación al concreto patrón, se establece que la sustitución al 15% no es tan recomendable como la sustitución al 10%.

Este comportamiento se puede sustentar en el hecho de que el contenido de óxido de calcio disminuye de manera considerable, llegando a estar presente en un 57.70%, este hecho ocasiona un desequilibrio entre el contenido de óxido de silicio que alcanza hasta un 22.58%, siendo este último muy superior al porcentaje que contiene el cemento portland tipo I. pese a estas notorias variaciones de óxido de calcio y silicio se obtuvieron mayores resistencias en el concreto en relación al concreto patrón,

justificándose ello por la relación agua/cemento que es inferior a la relación del concreto patrón.

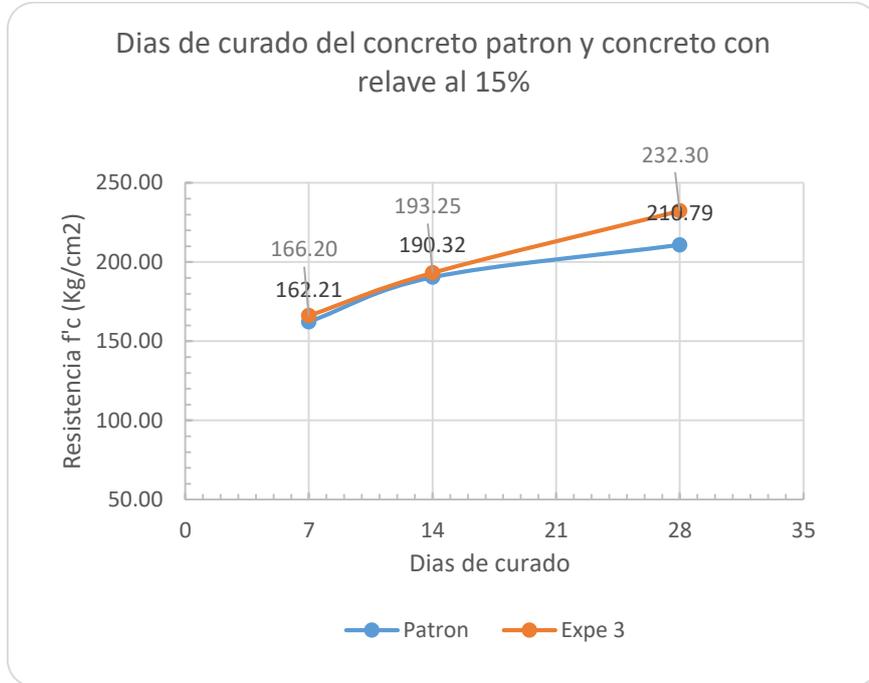


Gráfico 13: Días de curado del concreto patrón y concreto con relave al 15%
Fuente: Ensayos de compresión axial – Lab. USP Huaraz

Análisis de los resultados del antecedente en comparación al Proyecto:

Anicama, (2013) En función a los promedios de los resultados obtenidos anteriormente, se seleccionaron los mejores diseños en función a puntajes que van desde 1 a 8 (mal comportamiento - buen comportamiento), según la siguiente tabla 21:

Tabla 21: Procedencia del relave minero.

RELAVE	CÓDIGO	PROCEDENCIA	PRODUCCIÓN	ABASTECIMIENTO
MWH	MWH	Cajamarca, Minera Cerro Corona	Oro, Cobre	MWH Perú S.A.
Andaychagua	ANDAY	Junín, Compañía Minera Volcan	Plomo, Zinc, Plata	Unión de Concreteras S.A.
Pallancata	PALLAN	Ayacucho, Hochchild Mining	Oro, Plata	Unión de Concreteras S.A.

Fuente: Anicama “estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios”

DISEÑO	RESISTENCIA A COMPRESIÓN AXIAL (Kg/cm ²)	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO AL PATRÓN	PUNTAJE	RESISTENCIA A TRACCIÓN INDIRECTA fsp(Kg/cm ²)	PORCENTAJE ALCANZADO RESPECTO AL PATRÓN	PUNTAJE	RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (%)	PUNTAJE	PUNTAJE TOTAL
GA-PAF	241.8	100%		20.84	100%		0.70%		
GA-MWH (10%)	213.2	88.17%	8	21.73	104.27%	8	1.24%	1	17
GA-MWH (15%)	194.0	80.23%	5	20.87	100.14%	6	0.89%	4	15
GA-PALLAN (10%)	200.8	83.04%	6	19.09	91.60%	4	0.74%	7	17
GA-PALLAN (15%)	176.3	72.91%	3	17.78	85.32%	3	0.73%	8	14
GA-ANDAY (10%)	208.7	86.31%	7	21.31	102.26%	7	0.81%	6	20
GA-ANDAY (15%)	193.2	79.90%	4	19.91	95.54%	5	0.86%	5	14
GA-ANDAY (20%)	168.7	69.77%	2	15.64	75.05%	1	0.95%	3	6
GA-ANDAY (25%)	151.0	62.45%	1	17.05	81.81%	2	0.99%	2	5

Gráfico 14: Comparación de la Resistencia mas optima del concreto

Fuente: Anicama “estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios”

- Con respecto a la resistencia a la compresión axial del concreto, ningún diseño llegó por lo menos a igualar la resistencia del concreto patrón. Los concretos que se acercaron más fueron los concebidos con los diseños MWH al 10% (88.17%) y Andaychagua al 10% (86.31%) (Ver Tabla). Estos valores están muy cercanos al concreto patrón, puede decirse que en ambos casos se llegó al 90% de la resistencia del concreto Patrón.
- En lo que respecta a la resistencia a la tracción indirecta por compresión diametral, cabe señalar que algunos resultados superaron a los del patrón; como son los concretos concebidos con los diseños MWH al 10% (104.27%), Andaychagua al 10% (102.26%) y MWH al 15% (100.14%) (Ver tabla 29). Los demás valores se aproximaron bastante a los resultados del concreto patrón, a excepción de los concebidos con los diseños Andaychagua al 20% y 25%.
- En lo que respecta a la resistencia a la abrasión se aprecia que dicha característica se ve afectada negativamente por la adición de los relaves mineros. Por ejemplo, para el relave escogido al aumentar el porcentaje de relave del 10% al 25%, la resistencia a la abrasión cae de 0.81% a 0.99% (se desgasta más).

En comparación con el Proyecto de Tesis: “**Resistencia de un concreto $f'c=210$ kg/cm² con cemento sustituido en 5%, 10% y 15% por relave de la mina Antamina**”, presentándose un mejor comportamiento mecánico del concreto a

los 28 días de curado en condiciones normales con la sustitución al 10%, la resistencia máxima alcanzada fue de $f'c=234.48 \text{ Kg/cm}^2$ en comparación con el tesis: **“estudio experimental del empleo de materiales de desecho de procesos mineros en aplicaciones prácticas con productos cementicios”** luego de establecer un puntaje a cada diseño de mezcla se observó que el concreto que presentó el mejor comportamiento fue el GA-ANDAY (10%), que es un diseño con reemplazo del 10% de cemento en peso por el relave Andaychagua.

V. CONCLUSIONES

- Realizado el análisis del peso específico del relave minero se determinó que este es un material más pesado que el cemento (siendo 4.505 g/cm³ del relave y del cemento 3.11 g/cm³), motivo por el que al sustituir al cemento en porcentajes de 5%, 10% y 15% se obtienen mezclas de cemento y relave con mayores pesos específicos que aumentan conforme aumenta el porcentaje de sustitución.
- Habiéndose determinado la alcalinidad de los conglomerantes (Cemento, relave minero y sus combinaciones), se ha encontrado que el pH mínimo corresponde al relave minero, alcanzando un valor de 10.49 y el máximo corresponde al cemento con un valor de 12.13, 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 del relave minero, se puede concluir que este conglomerante posee propiedades cementantes, esto por el alto contenido de Oxido de calcio (30.498.% en relación al peso total de una muestra de relave minero) y oxido de silicio (31.561% también en relación al peso total de una muestra de relave minero), óxidos de los que se está conformado el cemento y son los que le atribuyen resistencia al concreto.
- Se concluye que la relación agua/cemento varía según se aumenta el porcentaje de relave minero, siendo estas variaciones favorables debido a que la relación a/c va disminuyendo progresivamente. Se puede afirmar que la mejora de las resistencias a la compresión de los concretos experimentales se debe también a las menores relaciones a/c.
- Las resistencias a la compresión obtenidas por el concreto patrón fue de $f^c=162.21 \text{ Kg/cm}^2$, 190.32 Kg/cm^2 y 210.79 Kg/cm^2 , del concreto experimental con cemento sustituido al 5% por relave minero fue $f^c=164.86 \text{ Kg/cm}^2$, 192.30 Kg/cm^2 y 230.52 Kg/cm^2 , del concreto experimental con cemento sustituido al

10% por relave minero fue $f'c=166.59 \text{ Kg/cm}^2$, 194.36 Kg/cm^2 y 234.48 Kg/cm^2 y del concreto experimental con cemento sustituido al 15% por relave minero fue $f'c=166.25 \text{ Kg/cm}^2$, 193.25 Kg/cm^2 y 232.30 Kg/cm^2 a los 7, 14 y 28 días de curado respectivamente, la validez estadística de estas resistencias fue evaluado mediante la prueba ANOVA, determinándose a través de ello que existen diferencias significativas entre las resistencias obtenidas a las 3 edades de curado, implicando ello que efectivamente la sustitución del cemento por relave minero proporciona resistencias superiores.

- La resistencia a la compresión presenta un mejor comportamiento con sustitución del 10% con los relaves mineros, así como se puede apreciar en las demás investigaciones.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización del relave minero como conglomerante que sustituya al cemento en la preparación de concretos estructurales y no estructurales, en especial en porcentajes del 10% para así minimizar el impacto ambiental que genera el relave minero en el Distrito de San Marcos y a la vez reducir los costos de fabricación del concreto.
- Se recomienda a los futuros tesisistas realizar investigaciones para determinar el porcentaje máximo de relave minero producido por la mina Antamina 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 ingeniería mediante la reducción de costos en la fabricación del concreto.
- Se recomienda a los futuros tesisistas evaluar la factibilidad de sustituir el cemento en la elaboración del concreto por relave minero producido por la Mina Antamina en el Distrito de San Marcos activado térmicamente, esto con el fin de determinar el comportamiento de este material cuando se somete a estados de calcinación.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Libros

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

Flores, S. (2012). *Estudio integral y técnicas de remediación de la relavera de flotación de minerales polimetálicos de Ticapampa*. Perú: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Pasquel, E. (1993). *Tópicos de tecnología del concreto en el Perú*. Perú: Colegio de Ingenieros del Perú.

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

Romero, A. & Flores, S. (2010). *Manual de Reutilización de Pasivos Ambientales Mineros del Proceso de Flotación de Minerales*. Lima-Perú.

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

Tesis

Beresovsky, C. (2006) *Estudio Experimental del Comportamiento por desempeño de concreto lanzado reforzado con fibras metálicas*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima - Perú

Flores, S. (2008) *Estudio de los metales pesados en el relave minero abandonado de Ticapampa*. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima – Perú

Normas técnicas

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

NTP E.060. Concreto Armado. Reglamento Nacional de Edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006.

NTP 400.011. Definición y clasificación de agregados para uso en morteros y hormigones (concretos). 2da. edición. Norma publicada por R. 42-2009/INDECOPI-CNB (2009-01-11).

VIII. AGRADECIMIENTOS

A Dios quien me dio la vida y la ha llenado de bendiciones en todo este tiempo, a él que con su infinito amor me ha dado la sabiduría y la fortaleza para que fuera posible alcanzar una de mis metas, su amor y su bondad no tienen fin, me permite sonreír ante todos mis logros que son resultado de su ayuda, cuando caigo y me pone a prueba, para aprender de mis errores y mejore como ser humano y crezca de diversas maneras.

Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido y agradezco a mi madre Paulina N. Valenzuela Mauricio que desde el cielo me ha acompañado y ha guiado mis pasos, a mi padre Sabino Calhua Ramírez, a mis hermanos María y Erwin, que gracias a ellos esta meta está cumplida, a mi abuelita Silveria Mauricio Loarte, que con sus oraciones intercede ante Dios por mi bienestar y sabiduría.

A mi esposo Justin Santiago Trejo, porque su amor va más allá de un simple apoyo y compañía, porque tuvo las palabras de aliento y alegría cuando más las he necesitado.

A mi hijo Ángel Valentino Santiago Calhua, guerrero y valiente que desde el cielo se sentirá orgulloso de su madre, quien luchó por estar junto a sus padres, aunque ya no pueda verte aun así está presente.

A toda mi familia quiero expresarle mi reconocimiento y cariño, por su comprensión constante, estímulos en cada etapa que emprendo a lo largo de mi vida.

IX. ANEXOS Y APENDICE

APENDICE A: Peso específico del cemento, relave y combinaciones



PESO ESPECIFICO

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
"Resistencia de concreto F'C=210 Kg/cm2 con cemento sustituido en 5%, 10% y 15% por relave de la mina Antamina"			
TESIS	:	10% y 15% por relave de la mina Antamina"	
SOLICITA	:	Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani	
DISTRITO	:	HUARAZ	Hecho en : USP - Hz
PROVINCIA	:	HUARAZ	Fecha : 31/10/2018

MATERIAL 1: 100% DE RELAVE MINERO

Prueba N°		1	2
Frasco N°			
Lectura inicial	(ml)	500	500
Lectura final	(ml)	610	612
Peso de muestra	(gr)	500	500
Volumen desplazado	(ml)	110	112
Peso especifico	(gr/cm3)	4.545	4.464
Peso especifico promedio	(gr/cm3)	4.505	

MATERIAL 2: 95% CEMENTO + 5% DE RELAVE MINERO

Prueba N°		1	2
Frasco N°			
Lectura inicial	(ml)	500	500
Lectura final	(ml)	660	661
Peso de muestra	(gr)	500	500
Volumen desplazado	(ml)	160	161
Peso especifico	(gr/cm3)	3.125	3.106
Peso especifico promedio	(gr/cm3)	3.115	



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

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
TESIS	:	"Resistencia de concreto F'C=210 Kg/cm ² con cemento sustituido en 5%, 10% y 15% por relave de la mina Antamina"	
SOLICITA	:	Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani	
DISTRITO	:	HUARAZ	Hecho en : USP - Hz
PROVINCIA	:	HUARAZ	Fecha : 31/10/2018

MATERIAL 3: 90% CEMENTO + 10% DE RELAVE MINERO

Prueba N°		1	2
Frasco N°			
Lectura inicial	(ml)	500	500
Lectura final	(ml)	659	660
Peso de muestra	(gr)	500	500
Volumen desplazado	(ml)	159	160
Peso especifico	(gr/cm ³)	3.145	3.125
Peso especifico promedio	(gr/cm ³)	3.135	

MATERIAL 4: 85% CEMENTO + 15% DE RELAVE MINERO

Prueba N°		1	2
Frasco N°			
Lectura inicial	(ml)	500	500
Lectura final	(ml)	658	658
Peso de muestra	(gr)	500	500
Volumen desplazado	(ml)	158	158
Peso especifico	(gr/cm ³)	3.165	3.165
Peso específico promedio	(gr/cm ³)	3.165	



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 B: Análisis de pH del cemento, relave y combinaciones



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: "Resistencia de Concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con Cemento sustituido en 5 %, 10 % y 15 % por el Relave de la Mina Antamina"

TESISTA : Calhua Valenzuela, Helvi Rossani + 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. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: "Resistencia de Concreto F^c = 210 kg/cm² con Cemento sustituido en 5 %, 10 % y 15 % por el Relave de la Mina Antamina"

TESISTA : Calhua Valenzuela, Helvi Rossani - Tesista

MUESTRA : Relave

LUGAR DE MUESTREO: San Marcos - Huari - Ancash

FECHA DE RECEPCIÓN: 28-08-18

FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 29-08-18

FECHA DE TÉRMINO DEL ANÁLISIS: 29-08-18

Muestra	pH
Relave	10.49

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



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: "Resistencia de Concreto F'c = 210 kg/cm² con Cemento sustituido en 5 %, 10 % y 15 % por el Relave de la Mina Antamina"

TESISTA : Calhua Valenzuela, Helvi Rossani - Tesista

MUESTRA : Cemento + 5 % relave

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 + 5 % relave	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.



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



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: "Resistencia de Concreto F^c = 210 kg/cm² con Cemento sustituido en 5 %, 10 % y 15 % por el Relave de la Mina Antamina"

TESISTA : Calhua Valenzuela, Helvi Rossani - Tesista

MUESTRA : Cemento + 10 % Relave

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 % relave	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.



[Signature]
 M.Sc. Gerardo Castillo Romero
 JEFE DEL LABORATORIO DE ANALISIS
 DE SUELOS Y AGUAS



RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE pH

TITULO DE TESIS: "Resistencia de Concreto F^c = 210 kg/cm² con Cemento sustituido en 5 %, 10 % y 15 % por el Relave de la Mina Antamina"

TESISTA : Calhua Valenzuela, Helvi Rossani - Tesista

MUESTRA : Cemento + 15 % Relave

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 + 15% relave	12.05

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. GUINOTMO, Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS
DE SUELOS Y AGUAS



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, Decana de América)

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS

Laboratorio de Arqueometría

Informe N°128-LAQ/2018

Análisis de una muestra de relave minero por FRXDE

Introducción.

Se analizó por fluorescencia de rayos-X dispersiva en energía (FRXDE) de esta muestra de relave minero a pedido de la Srta. **Calhua Valenzuela, Helvi Rossana**, alumna de la Universidad San Pedro, sede Huaraz, y como parte de su proyecto de tesis titulada:

“Resistencia de Concreto $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con Cemento Sustituido en 8%, 10% y 15% por Relave de la Mina Antamina.”

La muestra proviene de la Mina Antamina y está en forma de grano fino de color plomo.

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 μA . 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 6350 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 relave minero. 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 la muestra de relave minero en % de masa.

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Al ₂ O ₃	2.381	3.117
SiO ₂	31.561	41.316
SO ₂	3.462	4.533
K ₂ O	0.812	1.062
CaO	30.498	39.925
TiO	0.191	0.256
Cr ₂ O ₃	0.008	0.010
MnO	0.219	0.287
Fe ₂ O ₃	7.079	9.268
Ni ₂ O ₃	0.003	0.002
CuO	0.052	0.067
ZnO	0.070	0.091
Ga ₂ O ₃	0.006	0.008
As ₂ O ₃	0.011	0.014
Rb ₂ O	0.002	0.003
SrO	0.017	0.023
ZrO ₂	0.019	0.024
Total	76.388	100.00



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

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS
Laboratorio de Arqueometría

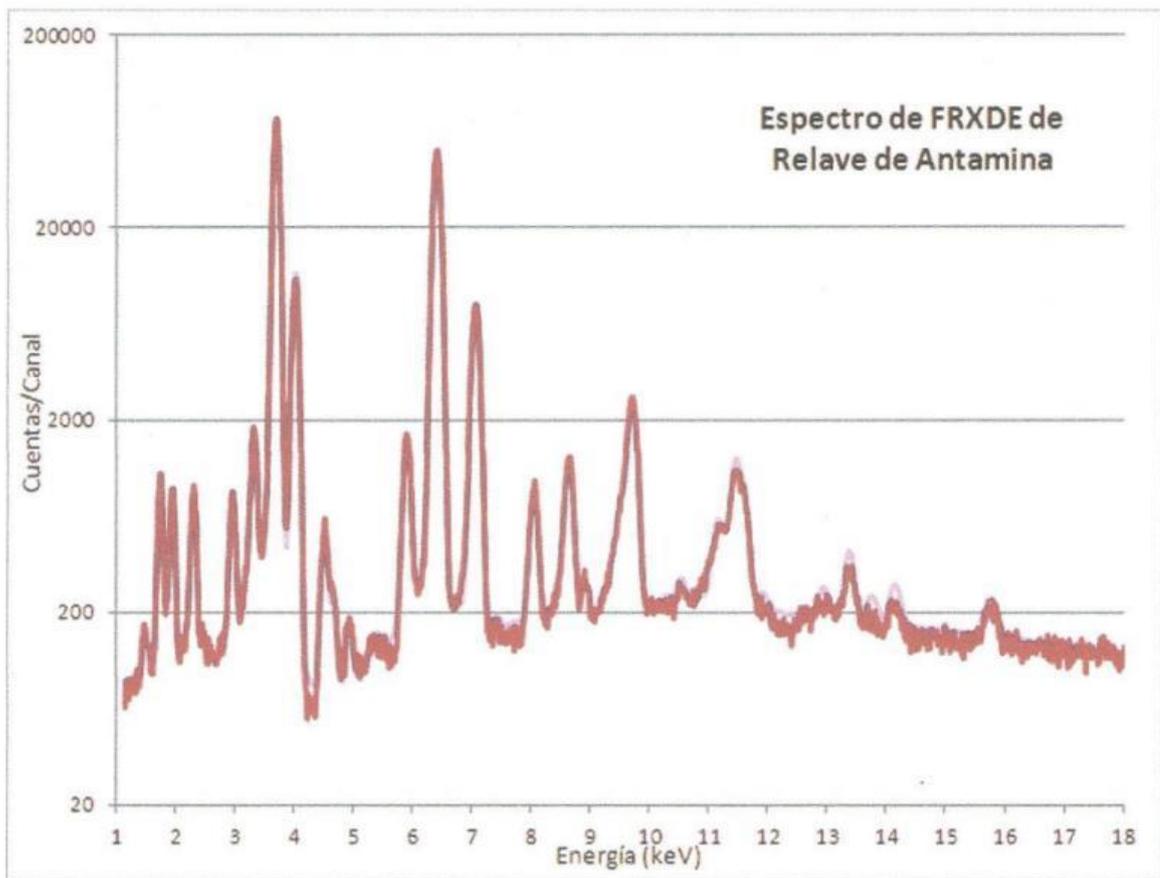


Figura 1. Espectro de FRXDE de una muestra de relave de la Mina Antamina en escala semi-logarítmica. Incluye el pico de Ar del aire y los picos de rayos-X de Au dispersados por la muestra. La curva en azul muestra el espectro simulado

Investigador Responsable:

Dr. Jorge A. Bravo Cabrejos

Laboratorio de Arqueometría



Lima, 21 de setiembre del 2018

APENDICE D: Estudio de agregados



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-2216-71

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS	
TESIS	: "Resistencia de Concreto F'C= 210 Kg/Cm2 con Cemento Sustituido en 5%, 10% y 15% por Relave de la Mina Antamina"
SOLICITA	: Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani
DISTRITO	: HUARAZ
PROVINCIA	: HUARAZ
PROG (KM.)	:
	HECHO EN : USP -HUARAZ
	FECHA 31/10/2018
	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	289,3		
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	258,9	286,9		
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 INGENIERIAS
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES

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



ANALISIS GRANULOMETRICO GRAVA

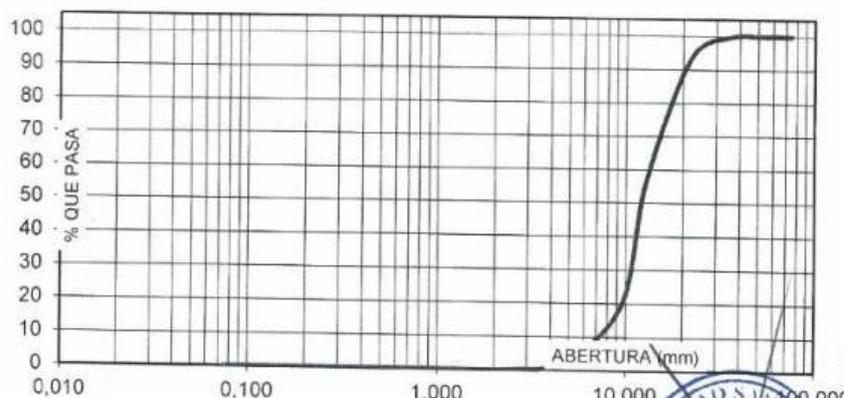
SOLICITA : "Resistencia de Concreto F'C= 210 Kg/Cm2 con Cemento Sustituido en 5%, 10% y 15%
TESIS : por Relave de la Mina Antamina"
Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani
LUGAR : HUARAZ
FECHA : 31/10/2018 **CANtera :** TACLLAN **MATERIAL :** AGREGADO GRUESO

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
 ENSAYO DE MATERIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrojo
 CIP: 116544
 JEFE



ANALISIS GRANULOMETRICO ARENA

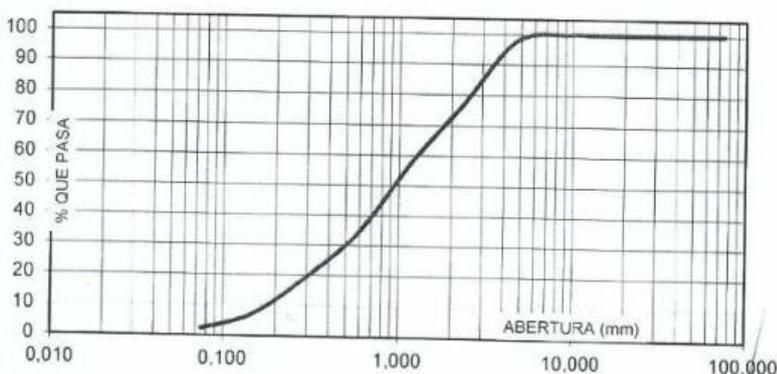
SOLICITA : "Resistencia de Concreto F'C= 210 Kg/Cm2 con Cemento Sustituído en 5%, 10% y 15%
TESIS : por Relave de la Mina Antamina"
Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani
LUGAR : HUARAZ
FECHA : 31/10/2018 **CANTERA :** TACLAN **MATERIAL :** AGREGADO FINO

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



**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
DEL AGREGADO GRUESO**

SOLICITA : "Resistencia de Concreto F'C= 210 Kg/Cm2 con Cemento Sustituido en 5%, 10% y 15%
TESIS : por Relave de la Mina Antamina"
Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani

LUGAR : HUARAZ
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : AGREGADO GRUESO
FECHA : 31/10/2018

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 Ambrósio
CIP: 116544
JEFE



**PESO ESPECIFICO Y ABSORCION
DEL AGREGADO FINO**

SOLICITA : "Resistencia de Concreto F'C= 210 Kg/Cm2 con Cemento Sustituído en 5%, 10% y 15%
TESIS : por Relave de la Mina Antamina"
Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani
LUGAR : HUARAZ
CANTERA : TACLLAN
MATERIAL : **AGREGADO FINO**
FECHA : 31/10/2018

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



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

PESOS UNITARIOS

SOLICITA : "Resistencia de Concreto $F'c = 210 \text{ Kg/Cm}^2$ con Cemento Sustituido en 5%, 10% y 15%

TESIS : por Relave de la Mina Antamina"

Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani

LUGAR HUARAZ

CANTERA : TACLLAN

MATERIAL : AGREGADO FINO

FECHA : 31/10/2018

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

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



PESOS UNITARIOS

SOLICITA : "Resistencia de Concreto $F'c = 210 \text{ Kg/Cm}^2$ con Cemento Sustituido en 5%, 10% y 15%

TESIS : por Relave de la Mina Antamina"

Bach. Calhua Valenzuela Helvi Rossani

LUGAR : HUARAZ

CANTERA : TACLLAN

MATERIAL : AGREGADO GRUESO

FECHA : 31/10/2018

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/m ³		

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/m ³		



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

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE

APENDICE E: Diseño de mezcla



**DISEÑO DE MEZCLA (METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI) DEL CONCRETO
PATRON**

Datos de ingreso:

Concreto requerido	
$f_c =$	210.00 Kg/cm ²

Agregado grueso	
Tamaño max. Nominal:	0.75 Pulg
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%

Agregado Fino	
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

Cemento	
Peso específico:	3.11

a) Resistencia promedio

$f_{cr} =$ 210.00 Kg/cm²

b) Selección del asentamiento

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

Asentamiento = 3.00 Pulg

c) Volumen unitario de agua

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

Vol. Unit. Agua = 205.00 L/m³

d) Contenido de aire

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

Cont. Aire = 2.00%

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
 FILIAL - HUARAZ
 FACULTAD DE INGENIERIA
 LABORATORIO DE MECANICA DEL SUELO X
 ENSAYO DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
 JEFE
 61P: 116644





USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

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/bo = 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 =

Peso del agregado fino seco =

0.30 m³

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

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
ENSAYO DE MATERIALES



Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

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
 $\Sigma = 28.87 \text{ m}^3$

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



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

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



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

DISEÑO DE MEZCLA (METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI) DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO AL 5% POR RELAVE MINERO

Datos de ingreso:

Concreto requerido	
$f'c =$	210.00 Kg/cm ²

Agregado grueso	
Tamaño max. Nominal:	0.75 Pulg
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%

Agregado Fino	
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

Cemento	
Peso específico:	3.115

a) Resistencia promedio

$f'cr =$ 210.00 Kg/cm²

b) Selección del asentamiento

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

Asentamiento = 3.00 Pulg

c) Volumen unitario de agua

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

Vol. Unit. Agua = 205.00 L/m³

d) Contenido de aire

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

Cont. Aire = 2.00%



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

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

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 = 0.672

f) Factor cemento

Fact. Cemento = 305.27 Kg/m³ 7.18 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/bo = 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: 305.27 Kg/m³

Agua: 205.00 L/m³

Agregado fino seco: 778.66 Kg/m³

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y
ENSAJES DE MATERIALES



Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE





USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

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



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
DE MATERIALES
[Signature]
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

**DISEÑO DE MEZCLA (METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI) DEL CONCRETO
CON CEMENTO SUSTITUIDO AL 10% POR RELAVE MINERO**

Datos de ingreso:

Concreto requerido	
$f_c =$	210.00 Kg/cm ²

Agregado grueso	
Tamaño max. Nominal:	0.75 Pulg
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%

Agregado Fino	
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

Cemento	
Peso específico:	3.135

a) Resistencia promedio

$f_{cr} =$ 210.00 Kg/cm²

b) Selección del asentamiento

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

Asentamiento = 3.00 Pulg

c) Volumen unitario de agua

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

Vol. Unit. Agua = 205.00 L/m³

d) Contenido de aire

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

Cont. Aire = 2.00%



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

Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



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 = 0.667

f) Factor cemento

Fact. Cemento = 307.23 Kg/m³ 7.23 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/bo = 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 =

Peso del agregado fino seco =

0.30 m³

778.66 Kg/m³

j) Valores de diseño

Cemento: 307.23 Kg/m³

Agua: 205.00 L/m³

Agregado fino seco: 778.66 Kg/m³

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ALFONSO DE ALCÁNTARA DE QUEVEDO Y
SANTO DOMINGO DE LOS BARRIALES

Ing. Elizabeth Maza Ambrósio
CIP: 116544
JEFE





USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

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



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



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

DISEÑO DE MEZCLA (METODO DEL COMITÉ 211 DEL ACI) DEL CONCRETO CON CEMENTO SUSTITUIDO AL 15% POR RELAVE MINERO

Datos de ingreso:

Concreto requerido	
$f_c =$	210.00 Kg/cm ²

Agregado grueso	
Tamaño max. Nominal:	0.75 Pulg
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%

Agregado Fino	
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

Cemento	
Peso específico:	3.165

a) Resistencia promedio

$f_{cr} =$ 210.00 Kg/cm²

b) Selección del asentamiento

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

Asentamiento = 3.00 Pulg

c) Volumen unitario de agua

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

Vol. Unit. Agua = 205.00 L/m³

d) Contenido de aire

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

Cont. Aire = 2.00%



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUÁRAZ
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE MECANICA DE SÓLIDOS Y
ENSAJO DE MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

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 = 0.661

f) Factor cemento

Fact. Cemento = 310.17 Kg/m³ 7.30 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/bo = 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: 310.17 Kg/m³

Agua: 205.00 L/m³

Agregado fino seco: 778.66 Kg/m³

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
LABORATORIO DE MATERIALES



Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE





USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

Agregado grueso seco: 987.44 Kg/m³

h) Corrección por humedad del agregado

Peso húmedo del:	Agregado fino:	817.03 Kg/m ³
	Agregado grueso:	998.37 Kg/m ³
Humedad superficial del:	Agregado fino:	3.45%
	Agregado grueso:	0.20%
Aporte de humedad del:	Agregado fino:	26.85 L/m ³
	Agregado grueso:	2.02 L/m ³
	$\Sigma =$	28.87 m³
	Agua efectiva =	176.13 L/m ³

Peso de materiales corregidos por humedad:

Cemento:	310.17 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



UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FILIAL - HUARAZ
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA DE SUELOS Y
MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambros
CIP: 116544
JEFE

PENDICE F: Ensayo de compresión axial de probetas



USP
UNIVERSIDAD SAN PEDRO

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : BACH. CALHUA VALENZUELA HELVI ROSSANI

TESIS : Resistencia de Concreto $F'_{C}=210 \text{ Kg/Cm}^2$ con cemento sustituido en 5%, 10% y 15% por relave de la mina Antamina

FECHA: 06/09/2018

F'_{C} : 210 kg/cm²

Nº	TESTIGO	PROGRESIVA	SLUMP	FECHA		EDAD	FC	FC/F' C
	ELEMENTO	KM.	(")	MOLDEO	ROTURA	DIAS	Kg/cm ²	(%)
1	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	162,0	77,2
2	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	162,3	77,3
3	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	162,4	77,3
4	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	190,2	90,6
5	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	190,4	90,7
6	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	190,3	90,6
7	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	210,8	100,4
8	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	211,0	100,5
9	CONCRETO RELAVE AL 0%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	210,6	100,3

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
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 : BACH. CALHUA VALENZUELA HELVI ROSSANI

TESIS : Resistencia de Concreto F'C=210 Kg/Cm² con cemento sustituido en 5%, 10% y 15% por relave de la mina Antamina

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 RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	166,5	79,3
2	CONCRETO RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	166,7	79,4
3	CONCRETO RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	166,6	79,3
4	CONCRETO RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	194,5	92,6
5	CONCRETO RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	194,2	92,5
6	CONCRETO RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	194,3	92,5
7	CONCRETO RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	234,4	111,6
8	CONCRETO RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	234,6	111,7
9	CONCRETO RELAVE AL 10%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	234,5	111,7

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 &
ENSAYO DE MATERIALES
Ing. Elizabeth Maza Ambrosio
CIP: 116544
JEFE



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION

SOLICITA : BACH. CALHUA VALENZUELA HELVI ROSSANI

TESIS : Resistencia de Concreto F'C=210 Kg/Cm² con cemento sustituido en 5%, 10% y 15% por relave de la mina Antamina

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 RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	166,3	79,2
2	CONCRETO RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	166,1	79,1
3	CONCRETO RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	16/08/2018	7	166,2	79,1
4	CONCRETO RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	193,3	92,1
5	CONCRETO RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	193,3	92,0
6	CONCRETO RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	23/08/2018	14	193,2	92,0
7	CONCRETO RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	232,3	110,6
8	CONCRETO RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	232,2	110,6
9	CONCRETO RELAVE AL 15%	-	-	09/08/2018	06/09/2018	28	232,4	110,7

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
 ENSAYO DE MATERIALES
 Ing. Elizabeth Maza Ambrós
 CIP: 116544
 JEFE

APENDICE G: Panel fotográfico

Fotografía 01

Proceso de activación mecánica del relave mineral



Fotografía 02

Secado del relave mineral al aire libre para posteriormente realizar el tamizado por la malla N° 200



Fotografía 03

Análisis granulométrico del agregado fino



Fotografía 04

Proceso de mezclado del concreto, realizado en las instalaciones de la USP - Huaraz



Fotografía 05

Proceso de lubricado de los moldes para el posterior vaciado del concreto



Fotografía 06

Proceso de desencofrado de los testigos de concreto.



Fotografía 05

Ensayo de compresión axial de los testigos experimentales en el laboratorio de mec. Suelos de la USP- Huaraz



Fotografía 06

Briquetas ensayadas, se evidencia que los testigos fueron sometidos a esfuerzos de compresión máximos.



Fotografía 07

Ensayo de compresión axial de los testigos experimentales en el laboratorio de mec. Suelos de la USP- Huaraz



Fotografía 08

Ensayo de compresión axial de los testigos experimentales en el laboratorio de mec. Suelos de la USP- Huaraz



ANEXO A: Tablas para el diseño de mezclas por el método del ACI

Anexo A.1. Tabla para selección de asentamiento

Tabla 23: 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. Selección de volumen unitario de agua

Tabla 24: 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. Selección de relación agua – cemento

Tabla 25: 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. Selección de peso del agregado grueso por unidad de volumen de concreto

Tabla 26: 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
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)