

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIOS DE INGENIERIA CIVIL



**Resistencia del concreto con la sustitución del cemento en
un 5% y 10% por arcilla de Huanchac – Huaraz 2018.**

Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil

Autor

Roberto, Gonzales Suarez

Asesor

Ing. López Carranza Rubén

Huaraz – Perú

2020

Índice General

	Página
Título.....	v
PALABRAS CLAVE:	vi
Resumen:	vii
Abstract.....	viii
I. Introducción.....	1
II. Metodología.....	28
III. Resultados.....	31
IV. Análisis y discusión	42
V. Conclusiones y recomendaciones.....	44
VI. Agradecimientos	46
VII. Referencias bibliográficas.....	47
VIII. Anexos y apéndices.....	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Límites granulométricos para el agregado fino.	15
Tabla 2. Requisitos de granulometría para el agregado grueso.	17
Tabla 3. Esquema del diseño experimental.	28
Tabla 4. Técnicas e instrumentos.	29
Tabla 5. Límite Líquido de la arcilla de la localidad de Huanchac.	31
Tabla 6. Límite Plástico de la arcilla de la localidad de Huanchac.	31
Tabla 7. Índice de plasticidad de la arcilla de la localidad de Huanchac.	32
Tabla 8. pH de la arcilla, cemento y de la mezcla arcilla – cemento.	33
Tabla 9. Peso específico del cemento y arcilla de la localidad de Huanchac.	34
Tabla 10. Cantidad de materiales y relación A/C para el concreto patrón y experimentales con la sustitución del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 5 y 10%.	35
Tabla 11. Resistencias de los especímenes de concreto patrón $f'c=210$ kg/cm ²	35
Tabla 12. Resistencias de los especímenes de concreto experimental $f'c=210$ kg/cm ² con la sustitución del cemento en un 5% de arcilla de la localidad de Huanchac.	36
Tabla 13. Resistencias de los especímenes de concreto experimental $f'c=210$ kg/cm ² con la sustitución del cemento en un 10% por arcilla de la localidad de Huanchac.	37
Tabla 14. Resistencias promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental $f'c=210$ kg/cm ² con la sustitución del 5% y 10% del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac.	38

Tabla 15. Resistencias promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental $f'c=210$ kg/cm ² con la sustitución del 5% y 10% del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac, expresado en porcentajes.	39
Tabla 16. Prueba de Hipótesis. Análisis de varianza para determinar las diferencias de las resistencias de los concretos patrón y experimentales $f'c=210$ kg/cm ²	41
Tabla 17. Granulometría del agregado fino.	49
Tabla 18. Granulometría del agregado grueso.	50
Tabla 19. Contenido de Humedad del agregado fino.	51
Tabla 20. Contenido de Humedad del agregado grueso.	51
Tabla 21. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.	52
Tabla 22. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.	52
Tabla 23. Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.	53
Tabla 24. Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso.	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Límites granulométricos específicos para el Agregado fino de acuerdo a la NTP 400. 037	16
Figura 2. Límites granulométricos específicos para el Agregado grueso de acuerdo a las normas NTP 400.037.....	17
Figura 3. Límites de consistencia de la arcilla de la localidad de Huanchac.....	32
Figura 4. Clasificación de la arcilla.	32
Figura 5. Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales.	40
Figura 6. Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales, expresado en porcentajes respecto a la resistencia de diseño.	40
Figura 7. Curva Granulométrica del agregado fino.	49
Figura 8. Curva Granulométrica del agregado grueso.	50

**Resistencia del concreto con la sustitución del cemento en
un 5% y 10% por arcilla de Huanchac – Huaraz 2018**

PALABRAS CLAVE:

Tema : Resistencia de concreto, arcilla

Especialidad : Tecnología del concreto

KEYWORDS:

Topic : Concrete resistance, clay

Specialization : Concrete technology

LINEA DE INVESTIGACION

Programa : Ingeniería Civil

Línea de Investigación : Construcción y Gestión de la Construcción

OCDE : Ingeniería y Tecnología

Ingeniería Civil

Ingeniería de la construcción

Resumen:

El objetivo general de la presente investigación fue el determinar el comportamiento de la resistencia a la compresión de un concreto cuyo diseño fue de $F'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y al cual se le sustituye parcialmente el aglomerante en dos porcentajes: de 5% y 10% en relación a su peso de diseño, el material de sustitución es la arcilla proveniente de la localidad de Huanchac. Huaraz.

Es una investigación cuyo enfoque es el cuantitativo, aplicado y explicativo, el cual tiene un planteamiento experimental: Bloque completo al Azar. Cuya muestra se basó en un total de 27 elementos cilíndricos o también llamados testigos o probetas: distribuyéndose de la siguiente manera: 9 probetas para el concreto convencional o patrón, también 9 probetas de concreto con 5% de arcilla (sustituyendo al cemento), y 9 probetas de concreto con el 10% de arcilla (sustituyendo al cemento). La observación directa fue el procedimiento utilizado, y para ello se emplearon diversos instrumentos de acuerdo a las normas establecidas en el laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro – Huaraz, que ayudan al recojo de los datos: guías de observación y también las respectivas fichas técnicas,

Los resultados evidencian que el concreto sustituyendo el cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 5%, es el que tiene mayor resistencia a la compresión, cuyo valor es 1.70% más que el resultado del concreto patrón, el concreto experimental con el 10% de sustitución del cemento por arcilla obtuvo una resistencia menor en 9.18% que la resistencia del concreto convencional o patrón, estos resultados se deben y verifican que la reacción compleja que se produce en una mezcla de concreto al momento de la hidratación varia la resistencia a la compresión.

Abstract

The general objective of this research was to determine the behavior of the compressive strength of a concrete whose design was $F'c = 210 \text{ kg / cm}^2$ and to which the binder is partially replaced in two percentages: 5% and 10% in relation to its design weight, the substitute material is clay from the town of Huanchac. Huaraz

It is an investigation whose focus is quantitative, applied and explanatory, which has an experimental approach: Complete Random Block. Whose sample was based on a total of 27 cylindrical elements or also called cores or specimens: being distributed as follows: 9 probes for conventional or standard concrete, also 9 concrete probes with 5% clay (replacing cement), and 9 concrete specimens with 10% clay (replacing cement). Direct observation was the procedure used, and for this, various instruments were used according to the standards established in the Materials Testing laboratory of the San Pedro - Huaraz University, which help to collect the data: observation guides and also the respective technical sheets,

The results show that the concrete replacing cement by clay from the Huanchac locality by 5%, is the one with the highest resistance to compression, whose value is 1.70% more than the result of the standard concrete, the experimental concrete with 10 % of cement replacement by clay obtained a lower resistance in 9.18% than the resistance of the conventional or standard concrete, these results are due and verify that the complex reaction that occurs in a concrete mixture at the time of hydration varies the resistance to compression.

I. INTRODUCCIÓN

De los antecedentes a los que se tuvo acceso y que fueron revisados para poder llevar a cabo el presente estudio de investigación, se han tomado en cuenta algunos de los más importantes y relevantes como el siguiente: la investigación de Hernández (2009), el cual se realizó en la Universidad Autónoma de Querétaro- México, y estudio las arcillas expansivas presentes en esta ciudad para que pueda sustituir de forma aplicada en el mejoramiento de propiedades mecánicas y físicas como la resistencia y la permeabilidad, es por ello que se plantea como objetivo de su tesis: “diagnosticar si el material inerte y los suelos expansivos presentan una relación adecuada para obtener condiciones aceptables de resistencia y permeabilidad. Además en la investigación, Hernández, realizar también algunas otras propuestas de estudio como la del materiales aglomerante tales como: cemento y cal, así como combinaciones de arcilla con cal y arcilla con cemento. Estos últimos cuatro materiales podrían ser alternativas de sustitución. Se llegó a determinar que el material conocido en la zona como “tapetate”, o según su gradación es una arena limosa, tiene un comportamiento permeable al igual que una arena fina en condiciones naturales, pero una vez que se combinan o sustituyen con cal y cemento, estos suelos incrementan esa propiedad, lo que significa que estos materiales no cumplen con ser eficientes y puedan ser usados como sustitutos de las arcillas expansivas a consecuencia de su permeabilidad. Siendo también materiales inertes la resistencia de la arcilla con cemento y arcilla con cal, éstas tuvieron entre sí grandes diferencias. La expansión que se produce en estas arcillas de Querétaro disminuye en las combinaciones de cal y cemento desde el 4% y cuando llega al 6% esta expansión ya no se produce, tanto en la cal y en cemento.

Yagual & Villacis (2015), en su estudio titulado: “Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida”, desarrollado en la UPSE: Universidad Estatal Península de Santa Elena, en el país vecino de Ecuador, propone como objetivo principal desarrollar un concreto liviano a partir de uso de la arcilla expandida y posteriormente determinar las propiedades mecánicas y físicas de este concreto. Dentro de sus conclusiones de acuerdo a la aplicación de la Norma ASTM C330 señala que las arcillas expandidas utilizadas en el estudio cumplen con los requisitos de

gradación para un agregado liviano para las mezclas de concreto. De acuerdo a la norma ASTM C1576-13 concluyen en que la Silice presente en las arcillas expandidas (agregado) no reaccionan con los álcalis presentes en el cemento portland. La densidad que se logra obtener de este nuevo concreto liviano con el uso de arcillas expandida varía entre $1,594 \text{ kg/m}^3$ a $1,781 \text{ kg/m}^3$, estas densidades cumplen la norma ACI 318 y lo clasifica como “concreto liviano” ya el rango de densidades para este tipo de concreto fluctúa desde 300 kg/m^3 y $1,850 \text{ kg/m}^3$. Los resultados de este concreto permiten tener una disminución del 40% de un concreto convencional.

Valentín & Julca (2015), quienes en el estudio que realizaron, tuvieron como meta final la determinación de la resistencia a la compresión del concreto $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$, tanto del concreto convencional o patrón como del concreto cuando se le sustituye la arena por la arcilla natural en 3%, 5% y 7% en el diseño; llegaron a concluir que el concreto sustituyendo la arena por la arcilla natural en un 7% no excede a la resistencia del concreto patrón; mientras que sustituyendo la arena por arcilla natural en un 5%, el concreto obtiene mayor resistencia que el concreto patrón, y sustituyendo la arena por arcilla natural en un 3%, se logra una resistencia similar al concreto patrón.

De igual forma que Mejía (2017), en su tesis acerca de la determinación de la resistencia a la compresión del concreto cuando se le sustituye el cemento por un material inerte como la arcilla en diversos porcentajes tales como 3% y 6% respecto al peso del aglomerante, tuvo como objetivo el desarrollar un concreto con una sustitución parcial de cemento por arcilla de la localidad de Paria, Huaraz, y así determinar cómo afecta o modifica la resistencia del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Estos estudios se realizaron en los laboratorios de mecánica de suelos y física de la Universidad San Pedro, el objeto de estudio la arcilla tuvo un proceso de activación mecánica, llegándose a la conclusión que la arcilla de la zona de Paria – Huaraz, activada a temperatura ambiente al tener más del 70% en su composición de óxidos: altrioxido de aluminio y oxido de silicio, tiene un comportamiento cementante; lo cual facilita su uso para la elaboración del concreto; asimismo, se verificó que la resistencia a la compresión del concreto experimental no supero a la de concreto patrón o convencional.

La mezcla ampliamente y masivamente utilizada en la construcción es el concreto, mezcla compuesta de agregado grueso, agregado fino, aglomerante (cemento portland) y agua, según condiciones o requerimientos también se emplea aditivos.

El principal material aglomerante es el cemento portland, aglomerante hidráulico, que permite que mediante el proceso de hidratación con el agua se forme un gel que aglutina a los demás componentes, agregado grueso y agregado fino. Estos materiales pétreos son clasificados según sus diámetros de partículas, pudiendo ser: gravas, gravillas, arena gruesa arena media o arena fina. Cuando se realiza una mezcla de agua con aglomerante se obtiene una mezcla denominada: pasta de cemento, cuando se realiza una mezcla de agua, aglomerante y arena se le denomina mortero. También podemos distinguir otros concretos, pero no hidráulicos sino, concretos asfálticos o bituminosos, ya que el aglomerante usado para formación y unión con agregados es un aglomerante hidrocarbonado, como el betún.

Concreto

Según, Somyaji, (1995). De acuerdo a la etimología de la palabra concreto, esta, tiene su origen del término: “concretus” que en la de la lengua itálica o latín significa “compuesto”. El concreto es una mezcla de que se compuestos pétreos como la grava y la arena gruesa las cuales se unes mediante la pasta o gel de cemento y agua. Las gravas los podemos considerar agregado grueso mientras que agregado fino serían las arenas.

Los materiales pétreos naturales que pasan por la malla N° 4 o diámetro 4.75 mm y son retenidos en la malla #200 o diametro 0.074mm se les denominan arenas o agregado fino, estas arenas pueden ser artificiales o naturales, si existe un proceso de trituración mecánico o manual y se particiona las partículas son artificiales, si esa partición a sido hecha por fenómenos eólicos, o intemperismo, son naturales. Las partículas mayores a malla N° 4 o diámetro 4.75 mm son los agregados gruesos necesarios para la elaboración del concreto,

Los agregados grueso y finos ocuparan entre un 60% y 75% de la masa del concreto, al unirse mediante la pasta de cemento y agua (en algunos casos aire) forman el concreto. La

La pasta está compuesta de cemento, agua y a veces aire incluido. Esta pasta generalmente constituye del 25 al 40 % del volumen total de un concreto.

Las propiedades mecánicas del concreto tienen su origen en la reacción compleja de hidratación que se produce entre el cemento y el agua, durante el fenómeno de hidratación los componentes del cemento tienden a cristalizarse de forma progresiva, es entonces que este gel o pasta de cemento y agua aglutinan a los agregados para conformar una masa llamada concreto. La resistencia se va obteniendo de forma paulatina y creciente hasta por un periodo de 28 días, esta propiedad de la resistencia se relaciona con la permeabilidad del concreto mediante la relación agua cemento (a/c). este parámetro es inversamente proporcional a la resistencia, a mayor relación agua cemento menor resistencia, hay que tener en cuenta y muy importante es tener los cuidados necesarios en la selección de los agregados, el cual permitirán mejorar dicha resistencia, estos deben presentar de preferencia sus lados o aristas pronunciadas y no redondeadas, ya que permitirán mejor adherencia entre ellas y la pasta en la mezcla, es por ello que el uso de la piedra chancada es más conveniente.

Al referirnos al concreto, lo hacemos teniendo en cuenta que en la industria de la construcción es el material más común por sus ventajas, aplicaciones y prestaciones diversas desde un cimiento de edificación, los durmientes de una vía férrea, elementos de captación de agua, de almacenamiento de aguas, se utiliza en represas, canales, etc. se adecua a las necesidades hidráulicas. En el campo del transporte se utiliza en los pavimentos rígidos, obras de arte como alcantarillas, badenes, etc. en general la mayoría de las construcciones civiles tienen al concreto como material predominante con propiedades de resistencias a sollicitaciones mecánicas, físicas y químicas.

En el mismo orden de ideas Abanto (2009) señala que la combinación proporcional de los distintos materiales, tales como: aglomerante(cemento), agua, aire, grava

(agregado grueso) y arena gruesa (agregado fino) conformaran otro superior, que presenta propiedades de resistencias a los esfuerzos de compresión.

El cemento portland y agua reaccionan de forma química con la combinación de agregados finos y gruesos formando un material heterogéneo, al cual se le puede agregar según los requerimiento, necesidades o condiciones de temperatura productos llamados aditivos, para alterar ciertas propiedades del concreto tales como acelerar o retardar el endurecimiento, la trabajabilidad etc.

Para Díaz (2010), el concreto es un material que se conforma por proporciones en peso o volumen de distintos materiales como: el cemento. agua, agregados. Es una masa heterogénea, debido a la estructura compleja que presenta, es una combinación de pasta y material pétreo; la primera se compone del cemento y el agua, los cuales conformarán un gel que une a los agregados les da una consistencia plástica y moldeable en su estado fresco y posteriormente una consistencia cada vez más rígida lo cual permite en el concreto unas propiedades de resistencia elevadas en su estado endurecido. Estas características de resistencia del material hacen que sea este un material idóneo para la industria de la construcción.

Por su parte Metha y Monteiro (1998). definen al concreto como un material heterogéneo, debido a la estructura compleja que presenta, es una combinación de pasta y material pétreo; la pasta se compone de cemento y el agua, los cuales reúnen a los agregados y conforman una masa de concreto.

Cemento

Es un aglomerante hidráulico pulverizado, el cual tiene la propiedad de endurecerse, a partir de combinarse con una proporción adecuada de agua, formando así una mezcla pastosa o gel que tiene la capacidad de poder endurecerse a la intemperie, incluso dentro del agua, donde inicialmente forma compuestos estables. Los yesos y cales tanto aérea como hidráulica no se toman en cuenta en esta para esta. Rivva López (2010).

El cemento portland.

Según Abanto (1997) el aglomerante hidráulico de fácil adquisición comercial es el cemento portland normal, el cual, al mezclarse con agua, forma una pasta o cuando se mezcla con agua y agregados pétreos como la arena y piedra o similares, forma un conglomerado que reacciona de forma lenta pero constante hasta que forma una masa endurecida, este producto tiene buenas propiedades mecánicas de resistencia.

Clasificación:

La fabricación de los cementos portland determinan su clasificación, que son 5 tipos diferentes de acuerdo a propiedades que se han normalizado bajo la norma americana de la American Society for Testing and Materials o ASTM International específicamente la norma para cemento portland C-150. Abanto (1997).

Cemento Portland Tipo I

Este cemento es de uso general, sus características de uso son para obras de concreto sin requerimientos de los otros cuatro tipos.

Cemento Portland Tipo II

Se utiliza cuando las obras están expuestas o sufren de manera leve o moderada la acción de los sulfatos, o moderado calor de hidratación.

Cemento Portland Tipo III

Este cemento se utiliza cuando se necesita concreto que tenga una alta resistencia inicial, este cemento permite al concreto adquirir en 3 días su resistencia máxima, lo que normalmente tarda 28 días con los cementos tipo I y tipo II.

Cemento Portland Tipo IV

Este tipo de cemento se utiliza cuando el concreto requiere un reducido calor de hidratación.

Cemento Portland Tipo V

Este cemento se utiliza cuando se necesita un concreto que tenga una alta resistencia a los sulfatos. En obras que se relacionan con hidráulica y saneamiento, es decir que estén expuestas a la acción del agua con elevado contenido de álcalis o estén en contacto con ambientes marino o agua de mar.

En nuestro país los cementos que se utiliza y se produce son el tipo I , tipo II y Tipo V. En el Perú no se fabrica ni tampoco se utiliza los cementos con requerimiento de especificaciones de incorporación de aire.

También se pueden usar otros materiales como las puzolanas, escorias o cenizas volantes, para formar los cementos adicionados ASTM C-595. En la fabricación de los cementos adicionados se obtienen características específicas. La norma antes indicada determina 5 tipos de cementos adicionados y son:

- Cemento portland de alto horno - **TIPO IS**
- Cemento portland puzolánico - **TIPO P, TIPO IP**
- Cemento portland modificado con puzolanas - **TIPO I / PM**
- Cemento portland de escoria siderúrgica - **TIPO S**
- Cemento portland modificado con escoria - **TIPO I / SM**

La Resistencia a la compresión

Esta propiedad mecánica es la más importante que presenta este material, es calculada desde la fractura de una determinada carga que se aplica sobre una superficie o área, por tanto, la resistencia a la compresión resultante debe tener unidades tales como libra-fuerza por pulgada cuadrada en unidades que se utilizan en los estados Unidos de Norteamérica y en el Sistema Internacional la resistencia a la compresión se reporta en mega pascales MPa

Las resistencias requeridas para los concretos utilizados varía según los usos en la construcción: en obras civiles residenciales 17 Mpa , 2,500 psi, o 173 kg/cm², en estructuras comerciales hasta 28 Mpa , 4,000 psi, o 285 kg/cm², y en requerimientos específicos o concretos de alta resistencia hasta 70Mpa , 10,000 psi, o 714 kg/cm².

Según Abanto (2009) Para probar la resistencia a la compresión del concreto debe de considerar un concreto endurecido y no probar en condición plástica. Estas pruebas consisten en que se deben de realizar toma de datos de forma progresiva después de que el concreto ha sido elaborado y en esos periodos de tiempo ha sido curado o lo que es lo mismo sumergido en agua.

Esta propiedad del concreto se utiliza de forma constante y común en las obras por la facilidad que se tiene para realizar dicho ensayo desde su elaboración de las probetas in

situ, del proceso de curado y luego el refrendado y obtención de la resistencia a la compresión la cual se ve incrementada con el paso del tiempo. Esta propiedad esta dada por la carga máxima para una determinada área que tiene una muestra o probeta, previa a la falla or compresión (momento que se muestra el agrietamiento o falla fisura o rotura).

La resistencia a la compresión del concreto va en aumento de forma progresiva y se prueba a los 7, 14 y 28 días desde que se elaboró, y en ese periodo de tiempo fue curado; la máxima resistencia entonces se obtendría al periodo mayor de 28 días.

Propiedades del concreto endurecido:

Una vez se realiza la hidratación del cemento y se inicia el proceso de fraguado de la mezcla de concreto, en esta etapa adquiere la resistencia de compresión de diseño. (Torrado y Porras, 2009). Las propiedades que se miden en el estado endurecido del concreto son: resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, módulo de elasticidad estático y módulo de elasticidad dinámico, etc, siendo la mas importante y más común la resistencia a la compresión.

De acuerdo a Serrano (2010). Para cuantificar la resistencia a la compresión de un concreto existen varias técnicas invasivas y no invasivas , siendo estas últimas las que presentan más ventajas que la invasiva, los elementos no se ven lesionados en sus caras o superficies, , por lo tanto es solo recomendable usar técnicas invasivas solo en casos especiales y en condiciones excepcionales.

La resistencia a la compresión.

La densidad, durabilidad, resistencia a la abrasión, impermeabilidad, la resistencia al impacto resistencia a los sulfatos, resistencia a la flexión, entre otras más, son propiedades del concreto que están íntimamente relacionadas a la resistencia a la compresión del concreto en su estado endurecido.

Por lo que estas propiedades mecánicas y físicas no se deben considerar una función simple de esta, sino que un concreto tendrá mejores propiedades si mayor es su resistencia a la compresión. (Neville, A.,1999).

La relación agua y cemento es una de las propiedades que gobierna la resistencia a la compresión y es inversamente proporcional a su aumento, además también un

procedimiento o proceso que influye menor medida es el curado, proceso que relaciona la humedad superficial y la temperatura del material durante su proceso de fraguado y obtención de la resistencia, la edad también influye, así como, el tipo de material cementante y sus consideraciones de fabricación. Otras consideraciones que interviene en la resistencia a la compresión son los agregados utilizados es su elaboración, el periodo de mezclado, el nivel de compactación o auto compactación, así como también si el concreto se le incorpora aire o agrega algún aditivo.

La resistencia del concreto se ve disminuida por la presencia en cualquier tipo de vacíos que contengan aire, esta reducción es del 5% de la resistencia por cada 1% de aumento del volumen de vacios que contengan aire. (Mather & Ozyildirim, 2004).

Para calcular la resistencia a la compresión de una probeta cilíndrica, según Abanto (1997) se puede utilizar la siguiente formula:

$$f'_c = \frac{P}{A} ; A = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

Donde:

f'_c A (kg/cm²): resistencia a la compresión

P = carga axial de rotura (kilogramos)

ϕ : el diámetro del cilindro(cm)

Los moldes para realizar estas probetas o briquetas de concreto deben ser de material impermeable, no absorbente y no reactivo con el cemento. Los moldes normalizados se construyen de acero.

Diseño de Mezcla según ACI, para concreto F'c 175 kg/cm²

Un diseño mediante el ACI u otro, viene a ser la selección de los materiales a utilizar para la elaboración del concreto, para ello estos deben ser adecuados y al momento de mezclarse deben de lograr un producto con condiciones de trabajabilidad y consistencia deseadas en los procesos constructivos además de un costo mínimo, sin descuidar el cumplimiento de los requisitos que deseaba el proyectista o diseñador y que son plasmados en el expediente técnico, específicamente en los planos.

Para realizar la selección de las cantidades en proporciones de una mezcla se tienen en cuenta lo siguiente:

1. El proyectista o diseñador determina los requerimientos de resistencia del concreto endurecido que debe cumplir para las estructuras de la obra, y ellas se incorporan en las especificaciones técnicas en el área de estructuración.
2. El diseñador determina los requerimientos del concreto fresco como la trabajabilidad y la forma de colocación del concreto en la obra, dependiendo del tipo de edificación o construcción.

Costo del concreto por metro cubico

Con los requerimientos antes mencionados del concreto endurecido y concreto en estado fresco es que se puede conseguir una aproximación inicial de las proporciones de materiales necesarios para elaborar una unidad cubica de concreto. Siempre estas proporciones deben estar sujetas a ser revisadas y ajustadas previa comprobación de las mismas que son conseguidas en laboratorio (concreto endurecido) y en la misma obra (concreto fresco).

Pruebas y mediciones de resistencia del concreto

La norma ASTM C-31 señala la practica estándar para elaborar y curar las probetas de las pruebas de concreto in situ, bajo sus consideraciones se someten las probetas cilíndricas paa la aceptación y control de la calidad de la resistencia del concreto. Esta norma C-31 logra estimar la propiedad mecánica mas importante del concreto in situ, mediante el procedimiento estandarizado de elaboración de las muestras cilíndricas con sus dimensiones y modo de llenado, además señala el proceso de curado en agua. Mediante la norma ASTM C-39 que corresponde al ensayo de resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de concreto, indicando equipos, tiempos y aceleración de fuerza, etc.(National Ready Mixed concrete Association, s/f)

Proceso de curado

Hamsem (2005), define el curado como el proceso mediante el cual se busca mantener saturado la superficie del concreto endurecido, hasta que los vacíos del concreto fresco,

que al inicio están llenos de agua, sean reemplazados luego por los componentes del proceso de hidratación del cemento o gel. Además, afirma que el proceso de curado ayuda a controlar la variación de la temperatura y humedad que se produce desde dentro hacia afuera y viceversa. Con ello el curado pretende evitar la contracción de fragua inicial hasta que el concreto llegue a una resistencia mínima y pueda soportar los esfuerzos que son producidos por este fenómeno de contracción. Si el proceso de curado no se efectúa el concreto disminuye de forma drástica su resistencia a la compresión.

El curado del concreto promueve la hidratación del cemento, y es un proceso que mantiene la superficie del concreto saturada, porque solo se alcanza una buena hidratación del cemento siempre y cuando sus capilares estén llenos de agua, con el control de la temperatura del curado se evita la evaporación de esta agua. La rapidez del proceso de hidratación a temperaturas bajas es lenta, mientras que en temperaturas elevadas el proceso de hidratación es muy rápida (100°C).

Se pueden mencionar distintas formas de curado del concreto o métodos:

- Curado con agua
- Curado con materiales sellantes
- Curado al vapor
- Curado químico

El curado con agua, puede ser de 4 formas diferentes: haciendo uso de rociadores o aspersores, por inmersión, utilizando coberturas húmedas como telas, yute, etc, y por ultimo utilizando tierra, arena o aserrín saturados con agua sobre el concreto recién vaciado.

Según Abanto (2009) el proceso de curado del concreto que mantiene húmedo la superficie del concreto por un periodo de varios días después de su vaciado o colocación, con la finalidad que la hidratación del cemento se realice con la adecuada cantidad de agua cemento y la reacción química no se afecte.

La resistencia del concreto se adquiere de forma sostenida a lo largo de los primero 28 días desde su colocación , el 70% de esta resistencia se obtiene a los 7 días de la colocación o vaciado, es decir que los primeros 7 días debe considerarse un proceso

óptimo de curado, los días siguientes, la resistencia del concreto continúa creciendo y eso depende de las condiciones de humedad y temperatura que se le proporcione inicialmente. El resto del porcentaje, casi un 30%, puede perderse si se sufre un secado prematuro o también se pierde si la temperatura está por debajo de los 5°C durante los 5 primeros días de su colocación, para evitarlo se debe mantener húmedo la superficie del concreto por un periodo largo de tiempo. Si un concreto fresco está sometido a temperaturas bajas puede sufrir un fenómeno de congelamiento el cual reduce hasta un 50% de la resistencia a la compresión diseñada.

Agregados

Según, Abanto (2009). los agregados llamados también áridos, son inertes los cuales al combinarse con algún aglomerante y agua forman al concreto o morteros. Como aglomerantes tenemos el cemento y la cal, los agregados pueden ser gravas y arenas. Los agregados son muy importantes porque basta con saber que ocupan un 75% del volumen de una masa de convencional de concreto. Por tanto, es indispensable que los agregados presenten buena resistencia, durabilidad, este libre de limos o arcillas, su superficie no contenga impurezas como el barro o material orgánico, ya que ellos pueden disminuir el enlace con la pasta o gel de cemento.

Los agregados se pueden clasificar de la siguiente manera:

AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Arena fina	Grava
Arena gruesa	Piedra triturada

Hormigón. Es el material natural conformado por la mezcla de grava y arena, se le conoce también con el nombre de “ripio”, y este tipo de material inerte es utilizado para elaborar concreto no estructurales de relativa baja calidad, el cual se emplea comúnmente en cimentaciones corridas, falsas zapatas, falsos pisos, calzaduras, muros de contención, etc. Para emplear el hormigón para elaborar concreto, este no debe contener polvo, terrones, partículas blandas, sales, álcalis, y material orgánico o algunas otras sustancias dañinas (Abanto, 2009).

La granulometría.

La granulometría viene a ser el proceso de separación de una muestra de los agregados, esta muestra contendrá partículas de similar diámetro o tamaño. De forma práctica se diría que cada grupo de partículas de un mismo tamaño que se encuentran dentro de límites especificados por dos mallas, estas son aberturas diferentes de acuerdo a una secuencia. (Neville, 1999).

Céspedes (2003) en su publicación “La resistencia a la compresión del concreto a partir de la velocidad de pulsos de ultrasonido” precisa que la granulometría, es entendida como una distribución de tamaños de partículas de una muestra de agregado o también la granulometría es una importante característica debido a su requerimiento de trabajabilidad del concreto. El aglomerante del concreto es el material de mayor costo que los demás, sobre todo en comparación con los agregados, es necesario que se minimicen el uso del cemento y eso se consigue con la disminución de la pasta de cemento necesaria para que la mezcla con los agregados y en su estado fresco presente una consistencia y trabajabilidad adecuada, es decir un concreto manejable, fácil de compactar, fácil de ser acabado, y que obtenga buena resistencia y durabilidad.

La granulometría se rige por dos factores fundamentales:

- El área superficial de las partículas del agregado: porque de eso depende la cantidad de agua necesaria para mojar y saturar la superficie del agregado como cuerpo sólido.
- El volumen relativo: que ocupa el agregado
- La trabajabilidad
- Tendencia de segregación

La granulometría es el factor importante para la trabajabilidad que presenta en su estado fresco un concreto, y esta trabajabilidad influye en:

- Cantidad de cemento,
- Cantidades de agua
- Controla la segregación de los agregados
- Causa indirecta en el sangrado del concreto
- Favorece la colocación del concreto
- Facilita el proceso de acabado del concreto

Los factores antes mencionados corresponden al concreto fresco, pero indudablemente la granulometría afecta las propiedades de concreto cuando ya ha fraguado:

- Resistencia
- Contracción
- Durabilidad

Tamaño Máximo del agregado:

El tamaño máximo de los agregados de acuerdo a la norma técnica peruana NTP 400.037, señala que es la abertura del menor tamiz por el que pasa toda la muestra de agregado grueso.

La norma E-060, de concreto armado, respecto al tamaño máximo nominal del agregado grueso que no deberá ser superior a:

- La quinta parte de la menor distancia o separación entre lados de su encofrado.
- La tercera parte de la altura o espesor una la losa
- Las tres cuartas partes de espacio libre que hay entre los fierros de refuerzo o de los alambres de refuerzo, tendones, paquetes de barras corrugadas, paquete de tendones, etc.
- Estas limitaciones, se pueden obviar si el proyectista y responsables técnico de la obra demuestra que la trabajabilidad y procesos de compactación permiten que el concreto pueda ser colocado y compactado con cierta facilidad, y no se formen vacíos o también llamadas “cangrejeras”

Clasificación de agregados

1. Agregado fino

Es aquel agregado que pasa por el tamiz 3/8", y queda retenido en el tamiz #200, el agregado más común se le conoce como arena, que es el resultado de la desintegración de rocas y debe cumplir con la norma NTP 400-037. El agregado fino debe presentar una granulometría de uniformidad elevada, cuando su módulo de fineza varía entre 0.2 se debe rechazar este material. Su contenido de partículas que pasa por el tamiz N°50 permite una adecuada trabajabilidad de una mezcla de concreto. (Neville 1999).

Según Rivva (2007), acerca del agregado fino afirma que este debe contener un módulo de fineza entre 2.3 y 3.1, tal como lo señala la norma peruana. Para usar agregado fino con módulo de finura superiores o inferiores se deberá tomar sus precauciones al momento de seleccionar las proporciones de la mezcla de concreto. Los agregados finos deben no contener impurezas sino partículas deben ser limpias y de aristas pronunciadas, perfil angular compactas y duras, sin materia orgánica.

Tabla 1. Límites granulométricos para agregado fino

ASTM (Pulg)	Abertura mm	Límite Inferior (%)	Límite Superior (%)
3/8	9.5	100	100
4	4.75	95	100
8	2.4	80	100
16	1.2	50	85
30	0.6	25	60
50	0.3	5	30
100	0.15	2	10
200	0.075	0	0

Fuente: NTP 400. 037.

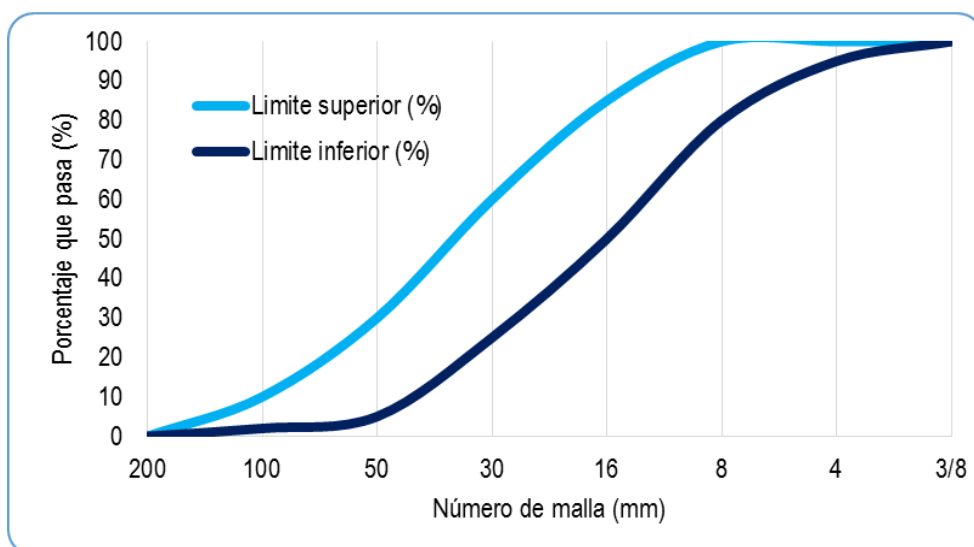


Figura 1. Los Límites de granulometría específicos para el agregado fino
Fuente: NTP 400-037

2. Agregado grueso

Según Rivva (2007), acerca del agregado fino afirma que es aquel material que es retenido por el tamiz N°4 y este es el resultado de la desintegración mecánica o natural de los materiales pétreos además deben de cumplir con la norma NTP 400-037, recibe el nombre de grava o piedra chancada o piedra triturada, o piedra zarandeada.

El material grueso retenido en la malla N° 4 y que cumpla con la norma NTP 400-037 se denomina agregado grueso según Neville. Pero además puede consistir de materiales pétreos naturales o artificiales. Las partículas deben ser limpias, libres de escamas, tierra, limos, humus, sales, sustancias dañinas. Los agregados gruesos deben no contener impurezas sino partículas deben ser limpias y de aristas pronunciadas, perfil semi angular compactas y duras, sin materia orgánica y sobre todo su textura debe ser rugosa.

Los agregados gruesos deben presentar una resistencia a la compresión superior a los 600 kg/cm², y debe estar entre los límites que señala la norma NTP400-037. La granulometría del agregado grueso:

- No debe contener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 1/2"

- No debe contener más del 6% del agregado que pasa por la malla 1/4"

Tabla 2. Requisitos de granulometría para el agregado grueso.

Malla (Pulg)	Abertura mm	Límite Inferior (%)	Límite Superior (%)
1	25	100	100
3/4	19	90	100
1/2	12.5	25	60
3/8	9.5	20	55
4	4.75	0	10

- Fuente: NTP 400-037.

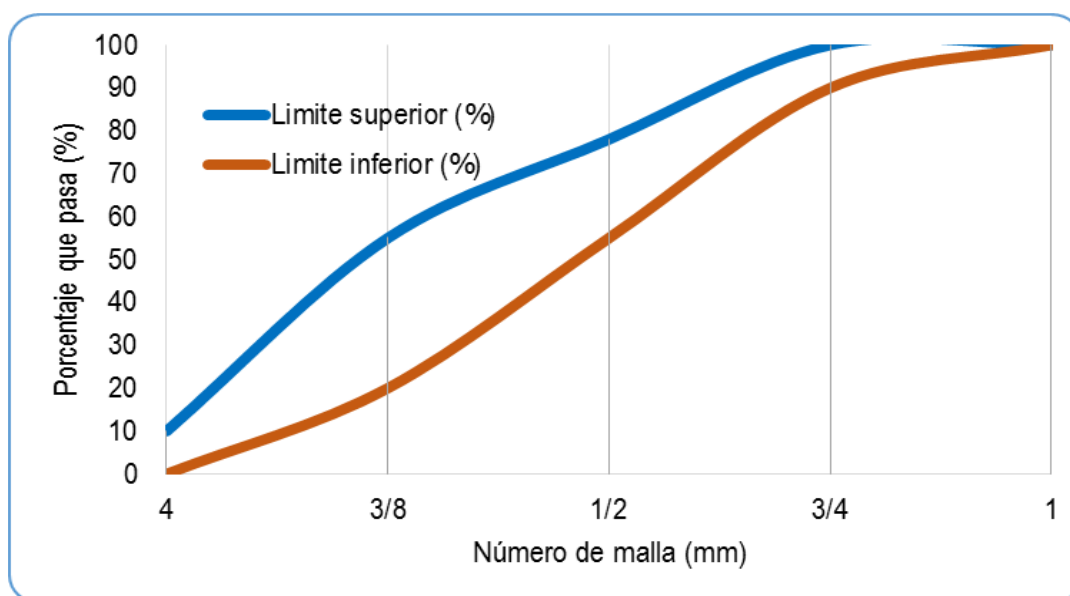


Figura 2. Límites de granulometría para Agregado grueso.
Fuente: NTP 400.037.

El módulo de fineza:

A partir de las granulometrías de los agregados Duff Abrams desde el año 1925 estableció un criterio para intuir una fineza promedio del agregado usado (Sánchez M. 2015).

De acuerdo a las normas técnicas internacionales como la ASTM y nacionales determinan que el módulo de fineza o módulo de finura del agregado fino debe ser entre 2.3 y 3.1, asumiendo que el valor más elevado indica que el material es mas

grueso y al contrario que a un módulo de fineza bajo la arena contendrá una gradación más fina; teniendo en cuenta el módulo de fineza y su influencia en la mezcla de concreto fresco se puede afirmar que las arenas con un módulo de fineza de 2.2 a 2.8 permitirán elaborar concreto con una muy buena trabajabilidad y que presente muy baja segregación. Mientras que las arenas con módulo de fineza entre 2.8 y 3.1 deben ser utilizados para la elaboración de concretos de alta resistencia.

El módulo de fineza es el resultado de la sumatoria de todos los porcentajes retenidos acumulados de la serie de mallas o tamices:

1 1/2", 3/4", 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100,

Posteriormente se divide la sumatoria anterior entre el valor 100.

A continuación, se presenta la siguiente fórmula para hallar el módulo de fineza

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

El contenido de humedad de los agregados

Según la norma NTP 400-016 viene a ser la cantidad de agua que contiene en agregado en su estado natural, esta humedad influye directamente en la relación agua / cemento y por ende en la posterior obtención de una adecuada resistencia del concreto, así como otras propiedades del concreto endurecido.

$$\text{Contenido humedad} = \frac{(P.\text{Hum.} - P.\text{Sec})}{P.\text{Sec}} \times 100$$

Peso específico de los agregados

Según la norma NTP 400-022 se establece que para definir el peso específico (densidad) el peso específico aparente, el peso específico saturado con superficialmente seco y la absorción después de 24 horas sumergido en agua.

Según Salcedo (2013) define al peso específico como la relación que existe entre el peso de las partículas del agregado y un volumen igual de agua, sin que se considere

los vacíos presente en el agregado. El valor del peso específico del agregado oscila entre 2500 y 2750 kg/m³. El peso específico se usa en los métodos de diseños de mezcla en donde se indica las proporciones en peso o en volumen de una mezcla de concreto.

Absorción

Es la cantidad de agua que puede ser absorbida cuando el agregado se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, y nos permite determinar un porcentaje de absorción. Se debe expresar como en porcentaje del peso del material seco que absorbe hasta que el material tenga una condición de saturado superficialmente seco (Salcedo 2009). Si la humedad del agregado es menor que la absorción, debe de agregarse más agua al concreto con la finalidad de compensar el agregado. En el caso contrario, si la humedad es más elevada que la absorción de este, se tiene que restar agua al concreto, debido a que los agregados están aportando agua a la mezcla. (Calla S. 2.013)

Peso unitario

Según norma NTP 400-017 indica que el peso unitario o también denominado peso aparente de los agregados, es el peso que logra obtener determinado volumen unitario de concreto. Algunas características que influyen directamente o indirectamente al peso unitario son:

- La gravedad específica
- la granulometría
- perfil y textura superficial
- contenido de humedad
- grado de compactación
- diámetro nominal máximo (en relación a su volumen)

Peso unitario suelto

Con sus siglas P.U.S. este parámetro físico busca determinar el peso de agregado que en condiciones normales llenaría un depósito de 46 volumen unitario. Otra denominación del P.U.S. es “Peso volumétrico unitario” ya que el agregado y los

vacíos ocupan un volumen. El P.U.S se debe utilizar para transformar las cantidades en pesos a cantidades en volúmenes.

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

Peso unitario compactado

Con sus siglas P.U.C. es la relación que existe entre peso de material que ha sido compactado y el volumen del depósito que lo contiene. Con este ensayo podemos determinar el grado de compactación que en estado natural presentan los agregados. Los agregados tienen diferentes proporciones entre el P.U.S y P.U.C.

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

Las arcillas

Son indudablemente los materiales inertes geológicos que presentan mayor contradicción desde una óptica de la ingeniería civil. La presencia de la arcilla en los suelos para la ingeniería acarrea una gran variedad de problemas de estabilidad para las estructuras de cimentaciones, pero al contrario son de valioso aporte para la conformación de capas que soportan cargas dinámicas y estáticas como base y sub bases de las estructuras de los pavimentos. Su uso como elementos de impermeabilización de suelos y taludes le da una relevancia bastante elevada en el campo ingenieril, los últimos años las arcillas se utiliza en las estructuras de contención o almacenamiento de residuos nucleares o contenidos de alta radiactividad evitando y retrasando la migración de los radios nucleídos y su daño colateral que ocasione a la biosfera.

Caracterización de la arcilla

La arcilla es:

- presenta una estructura laminar

- es un material higroscópico
- sufre cambios volumétricos con la presencia del agua
- la humedad la reblandece y convierte en plástica
- cuando se seca la masa sufre una contracción del 10%
- cuando se le calcina a temperaturas superiores a 600°C se endurece.

CLASIFICACION DE LAS ARCILLAS

Se clasifican en Illitas, caolinitas y montmorilonitas:

1. Arcillas Caolinitas

Su principal característica externa de este tipo de arcillas es su color blanco que tiene un grado alto de pureza, se utiliza para producir porcelana mantiene su color blanco después de la cocción, y también aprestos para almidonar. Es utilizado en el campo de la salud como material adsorbente, se forma por la descomposición de los feldespatos y otros elementos que contienen silicatos de aluminio, formando así un silicato de aluminio hidratado (Cruz 2014)

Usos de las arcillas en la Construcción

En la construcción su uso es diverso:

- conformación de taludes y terraplenes
- producción de arcilla pesada
- en la construcción de pistas de aterrizaje
- placas de vidrio
- mezclas termoplásticas para techos
- en elementos refractarios
- etc.

Las Arcillas Illitas

Este tipo de arcilla se encuentra definido como un tipo de mineral que corresponde al grupo de los silicatos. La arcilla del tipo Illita por su estructura química es un filosilicato o también silicato laminar. Este tipo de arcilla lo conforman diferentes

minerales de mica muscovita y es el agrupamiento que más abunda en los depósitos marinos de arcilla. En los depósitos de origen sedimentario también las illitas son las más abundantes en su tipo y se consideran en estos depósitos los elementos predominantes.

Características de las Illitas:

- son arcillas medianamente expansibles
- presentan una inestabilidad media
- la fricción interna es de grado medio
- presenta una plasticidad media

Las arcillas montmorillonitas

También llamadas arcillas expansivas, porque produce en el suelo húmedo grandes cambios del volumen, poniendo de manifiesto la directa relación que existe entre la humedad y el volumen. La presencia de humedad en la arcilla permite que esta se expanda y cuando la presencia de agua en ella es mínima o escasa, es decir al secarse se produce el fenómeno de la contracción, es entonces que se aparecen grietas de diferente profundidad y espesor. Este fenómeno físico a lo largo del tiempo genera suelos del tipo vertisol, los cuales son la consecuencia de la mezcla de materiales provenientes de un horizonte de mayor profundidad y los materiales expulsados hacia el interior cuando la arcilla vuelve a hidratarse y empuja el material que ocupa el espacio vacío de las grietas.

Las "montmorillonitas" se forma por dos laminas silicicas y una lámina aluminica, presentan una débil unión entre sus retículas, lo que permite que el agua a nivel molecular tenga facilidad para introducirse. Es por ello que la presencia de esa agua que se introdujo con relativa facilidad hace que este tipo de arcilla sea muy expansiva. Esta arcilla pertenece a los silicatos, y se ubica en un sub grupo llamado filosilicatos, y es un hidrosilicato que puede ser de aluminio o de magnesio.

Propiedades Físico-Químicas

Absorción y retención del agua.

Las características físicas y texturales como la superficie específica y la porosidad de las arcillas son las que determinan su capacidad de absorción de agua y es posible afirmar que existen dos procesos que se desarrollan de forma paralela: la absorción y la adsorción.

La absorción: es un proceso físico por el cual existe retención de agua por capilaridad, la absorción del agua de las arcillas absorbentes es superior al 100% respecto a su peso.

La adsorción es un proceso de interacción de tipo químico entre el material adsorbente que es la arcilla y el líquido que es un adsorbato. (García, 2012)

Proceso de hidratación de la arcilla y de hinchamiento.

Los procesos de hidratación así como la deshidratación que se producen en un espacio interlamina son características de las esmectitas, su importancia es muy relevante en los procesos y uso de la industria.

Estas dos propiedades se producen de forma independiente del catión que tenga, la primera de ellas, la hidratación, tiene la carga de lámina y el catión interlamina por naturaleza ligados entre sí.

Cuando se produce la absorción se separan las láminas y se aumenta el espacio interlamina, lo que produce el hinchamiento y posterior cambio de volumen, en este proceso de absorción interviene el balance que da entre la atracción electrostática (catión –lámina) y la energía de la hidratación de los cationes. Cuando el proceso avanza se intercambian de posición una capa de agua y la separación entre las láminas se eleva predominando en esta etapa las fuerzas de repulsión electrostática entre las láminas, incluso estas fuerzas pueden generar por el hinchamiento mismo la disociación de las láminas. (García 2012).

La plasticidad

Esta propiedad está presente en las arcillas. La plasticidad consiste en que el agua forma un envoltorio por sobre las partículas laminares, produciéndose de esta manera un efecto de lubricación, el cual permite un deslizamiento de las partículas laminares con mucha facilidad unas entre otras, esto a raíz de un esfuerzo sobre que se ejerce sobre ellas.

Esta propiedad comúnmente se cuantifica a través de determinación de los Índices de Atterberg. Estos índices se conforman del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad respectivamente. (Jiménez, 1975)

La capacidad del intercambio catiónico

Las arcillas tienen la posibilidad de intercambiar sus cationes, cambian con mucha facilidad los iones que están fijados en la parte superficial de los cristales, en los espacios interlaminares, pero también en espacios interiores existentes con características acuosas y envolventes.

La capacidad de intercambiar los cationes tienen las siglas CEC, y se define como la sumatoria de todos los cationes con capacidad de cambio mineral que tengan carga negativa. Estas cargas se generan de las siguientes tres formas:

- mediante los reemplazos isomórficos que se producen en el interior de la estructura de las partículas.
- Mediante los enlaces no saturados de los bordes y de las superficies externas de las partículas de arcilla.
- Mediante la disociación en los hidroxilos que son accesibles.

La primera forma se produce como carga permanente y representa el 80% del peso neto de la partícula, y es independiente del valor del potencial hidrógeno y de su respectiva actividad iónica.

Las dos últimas formas, si varían de acuerdo al potencial hidrógeno y de la actividad iónica, a esta forma le pertenecen bordes cristalinos que están químicamente activos, representan el 20% del peso neto de la lámina (García 2012).

Las arcillas presentan “problemas” cuando estas están sometidas a temperaturas por encima de los 200°C, y esos problemas se expresan con el colapso de la estructura.

La Porosidad y la Permeabilidad

Dependiendo del tipo de arcilla su propiedad de porosidad varia, dependiendo si la consistencia es más o menos compacta que tiene el sólido cerámico después de estar sometido a una activación térmica o calcinación. Cuando las arcillas son calcinadas a temperaturas relativamente bajas se producirá un material con un índice mayor de absorción. A mayor temperatura de cocción menor absorción, podríamos afirmar que la relación entre estos dos parámetros: temperatura y absorción, es inversamente proporcional. Respecto a la permeabilidad, como el tamaño de las partículas y condiciones de origen de sus partículas, entonces las arcillas de gradación fina presentan permeabilidad más baja que las arcillas de gradación más gruesa. (Famiglietti, N., 2014).

A continuación, se presenta en orden creciente de permeabilidad:

1. Pizarra (menor permeabilidad)
2. Arcilla
3. Lodo
4. Arena
5. Grava (mayor permeabilidad)

Las arcillas y su uso como tratamiento de agua

Las arcillas se utilizan en la decoloración y clarificación de las aguas turbias con elementos en suspensión. En los procesos de purificación de aguas contaminadas con aceites industriales y desechos orgánicos, etc, la arcilla es muy importante. Las arcillas se utilizan como filtros naturales en los procesos de retención y canalización de las aguas negras o aguas residuales para generar un proceso de limpieza por contacto que da como resultado una clarificación de las aguas negras y poder en algunos casos realizar un uso extra.

Los sólidos que presentan textura y porosidad adecuada generan en combinación con la arcilla un proceso de adsorción que reduce la contaminación en los suelos o aguas, además el uso de la arcilla por su accesibilidad a él, es de costo reducido.

Dentro de los materiales que componen el concreto, el cemento es el aglomerante más costoso y el más usado en la industria de la construcción; esto nos lleva a buscar y proponer una nueva opción empleando la arcilla como sustitución en un porcentaje del peso del cemento. De esta manera se estaría disminuyendo el costo total del concreto.

Asimismo, la gran cantidad y calidad de arcilla que se encuentra en la localidad de Huanchac ubicado en la parte alta del distrito de Independencia, permitiría aprovecharlas en la industria de la construcción; el alto contenido de silicio, aluminio y calcio podría favorecer en la resistencia a la compresión de concretos fabricados con la inclusión de la arcilla activada mecánicamente a temperatura ambiente.

Con esta alternativa que se propone en la presente investigación, permitirá elaborar concreto de bajo costo, y esto beneficiará a aquellas poblaciones de bajos recursos económicos.

Hoy en día, el uso del concreto en las construcciones tiene una tendencia de crecimiento, debido a que esta actividad requiere de agregados y cemento como principales componentes, lo que conlleva a la inversión de fuertes cantidades de dinero, al hacer uso de la arcilla se prevé que el costo disminuya considerablemente, y en base a lo expuesto se plantea la siguiente interrogante:

¿Cuál será la resistencia a compresión de un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$, sustituyendo al cemento en un 5% y 10% por arcilla de la localidad de Huanchac?

Se planteó la siguiente hipótesis:

Sustituyendo al cemento en un 5% y 10% por arcilla de la localidad de Huanchac, se lograría una resistencia por encima de un concreto de resistencia $F'c = 210$ kg/cm².

Como objetivo general se plantea determinar la resistencia a la comprensión del concreto de resistencia $F'c = 210$ kg/cm², sustituyendo al cemento en un 5% y 10% por la arcilla de la localidad de Huanchac.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Determinar el tipo de arcilla, mediante los límites de ATEMBERG.
- ✓ Determinar la composición química de la arcilla mediante el ensayo de EFLUORESCENCIA de Rayos X (EFRX).
- ✓ Determinar el grado de alcalinidad (Ph), de la muestra patrón y experimental.
- ✓ Determinar la relación A/C de la muestra patrón y experimental.
- ✓ Determinar el Peso Específico de la muestra patrón y experimental y (Cemento-Arcilla).
- ✓ Determinar la resistencia a la compresión de la muestra patrón y experimental a distintos periodos de curado de 7, 14 y 28 días, además comparar resultados mediante la estadística.

II. METODOLOGÍA

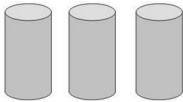
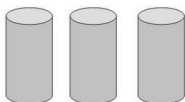
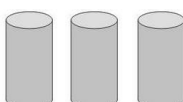
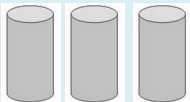
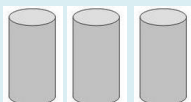
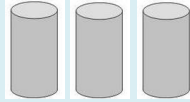
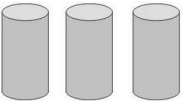
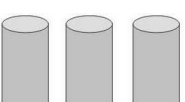
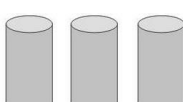
La presente investigación es aplicada, explicativa y de enfoque cuantitativo.

Diseño de investigación: El diseño de la investigación fue experimental, debido a que se manipuló el contenido del cemento sustituyéndolo por arcilla activada mecánicamente a temperatura ambiente, para evaluar su efecto en la resistencia a la compresión del concreto. Para ello se tuvo un diseño en bloque completo al azar donde el gradiente de variabilidad está dado por los días de curado y los porcentajes de reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac.

Diseño de bloque completo al azar

Concreto con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac.

Tabla 3. Esquema del diseño experimental.

Días de curado	Resistencia del concreto con porcentajes de arcilla de la localidad de Huanchac – Independencia		
	0%	05%	10%
7			
14			
28			

La Población y Muestra

Población.

Para la realización del presente estudio de tesis se considera que la población es el conjunto o conjunto de todas las probetas de diseño que hayan sido elaboradas de acuerdo a los procedimientos que señala la norma y un concreto de resistencia de diseño $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Para lo cual se tendrá como materiales, a los agregados grueso y fino, cemento, arcilla entre otros.

Los agregados grueso y fino se obtendrán de la cantera Tacllan, y la arcilla se obtendrá de la localidad de Huanchac, situado en el distrito de Independencia, provincia de Huaraz.

Muestra

La muestra estuvo conformada por 27 muestras cilíndricas o probetas en su totalidad, con un de concreto de diseño $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. De los cuales 09 probetas de concreto patrón (sin sustitución), 09 probetas de concreto con el 5% de reemplazo de cemento por arcilla y 09 probetas de concreto con el reemplazo del 10% de cemento por arcilla de la localidad de Huanchac.

Tabla 4. Técnicas e instrumentos.

TECNICA	INSTRUMENTO
LA OBSERVACION	GUIA DE OBSERVACION DE RESUMEN FICHAS TECNICAS DE LABORATORIO.

Se elaboró una guía d observación para recolectar la información o datos que se generan en el laboratorio. Estas guías fueron consideradas referentes a los ensayos siguientes:

- Ensayo de granulometría en agregado fino y agregado grueso
- Ensayo de peso específico del agregado fino

- Ensayo de peso específico del agregado grueso
- Ensayo de peso unitario del agregado fino
- Ensayo de peso unitario del agregado grueso
- Contenido de humedad de los agregados
- Diseño de mezcla
- Elaboración de probetas
- Ruptura de probetas

Procesamiento y análisis de la información.

Para realizar el procesamiento y análisis de la información se realizó una base de datos en Microsoft Excel que permitió realizar tablas y figuras, para realizar la contrastación de la hipótesis se hizo uso del software estadístico SPSS.

Para realizar el análisis de los datos se tuvo en cuenta lo siguiente:

Se realizó el diseño de mezcla para el concreto patrón y las experimentales con el reemplazo en un 5% y 10% del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac.

Los resultados se presentan en tablas, figuras, porcentajes, y la prueba ANOVA para identificar las diferencias en la resistencia del concreto patrón y las experimentales.

El análisis de la información se realizó, teniendo en cuenta los resultados del análisis de la composición química de la arcilla, el pH de la arcilla y el reemplazo de los porcentajes de 5% y 10%, y la resistencia a la compresión obtenidas por el concreto patrón y experimental respectivamente.

III. RESULTADOS

Tabla 5. Límite Líquido de la arcilla de la localidad de Huanchac.

Nro. DE CAPSULA	LIMITE LIQUIDO		
	10	25	15
Peso tara + suelo húmedo (a)	57.2	51.7	69.4
Peso tara + suelo seco (b)	44.5	40.1	54.7
Peso de la tara (c)	26.1	20.8	26.9
Peso del agua (a-b)	12.7	11.6	14.7
Peso suelo seco (b-c)	18.4	19.3	27.8
Humedad [$w=(a-b)/(b-c)*100$]	69.2	60.1	52.9
Nro. DE GOLPES	19	28	35

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la UPS

Tabla 6. Límite Plástico de la arcilla de la localidad de Huanchac.

Nro. DE CAPSULA	LIMITE PLASTICO			
	32	33		
Peso tara + suelo húmedo (a)	35.26	31.94	I	26.3
Peso tara + suelo seco (b)	33.60	30.70	II	26.4
Peso de la tara (c)	27.30	26.00		
Peso del agua (a-b)	1.66	1.24		26.37 %
Peso suelo seco (b-c)	6.30	4.70		
Humedad [$w=(a-b)/(b-c)*100$]	26.35	26.38		
Nro. DE GOLPES	I	II		

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la UPS

Tabla 7. Índice de plasticidad de la arcilla de la localidad de Huanchac.

Limite liquido	Limite plástico	Índice plástico
LL. : 62.52 %	LP. : 26.37 %	IP. : 36.15 %

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la UPS

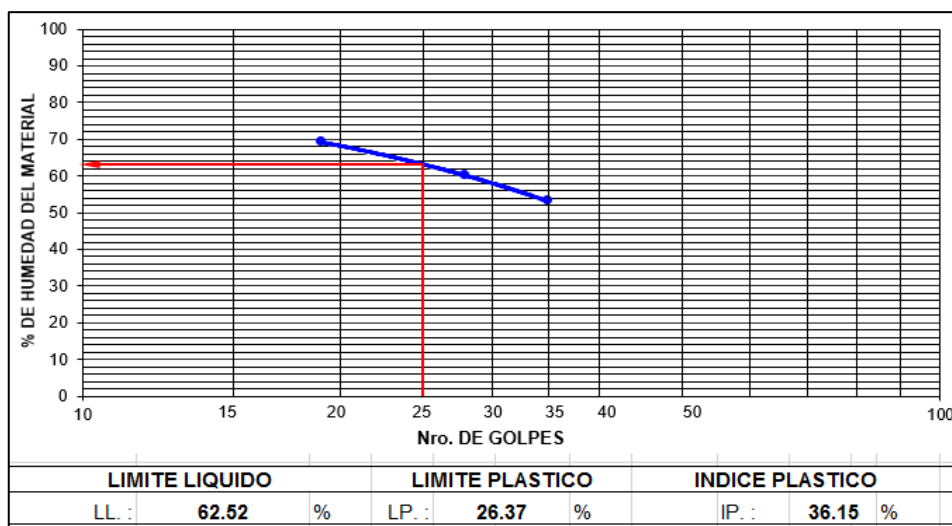


Figura 3. Límites de consistencia de la arcilla de la localidad de Huanchac.

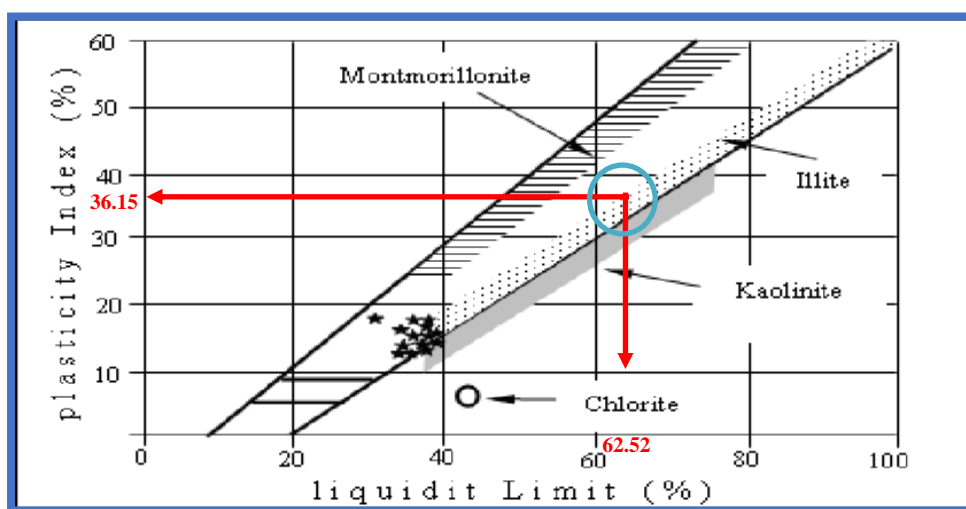


Figura 4. Clasificación de la arcilla.

En el presente gráfico, observamos que la arcilla de la localidad de Huanchac, en base a sus límites de consistencia (índice de plasticidad $IP = 36.15$ y el límite líquido $LL = 62.52$), se sitúa en la región comprendida a las arcillas denominadas Illita.

Tabla 8. Composición elemental de la arcilla en estado natural en % de masa y normalizado al 100%

Oxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
Silicio	53.287	75.436
Aluminio	7.772	11.002
Hierro	5.061	7.164
Potasio	2.619	3.707
Titanio	0.935	1.324
Calcio	0.734	1.039
Boro	0.070	0.099
Magnesio	0.054	0.077
Vanadio	0.025	0.036
Zirconio	0.024	0.034
Cromo	0.021	0.029
Níquel	0.013	0.018
Zinc	0.012	0.016
Arsénico	0.008	0.011
Cobre	0.003	0.004
Itrio	0.003	0.004
Total	70.539	100

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la UNMSM

En la presente tabla observamos que el óxido de silicio es el componente mayoritario de la arcilla de la localidad de Huanchac a razón del 53.287%, seguido del óxido de aluminio con el 7.772%, luego tenemos al óxido de hierro con un 5.061%, luego el óxido de potasio con un 2.619%. Son los principales componentes de la arcilla, la presencia del óxido de silicio hace que esta muestra sea la ideal en la preparación del concreto

Tabla 9. pH de la arcilla, cemento y de la mezcla arcilla – cemento.

Muestra	pH
Arcilla	6.31
Cemento	12.15
Cemento + 5% arcilla	12.05
Cemento + 10% arcilla	11.95

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la UPS

El pH de la arcilla de la localidad de Huanchac – Huaraz es ligeramente acida, mientras que el pH del cemento es 12.15 (extremadamente alcalino), al reemplazar el cemento por arcilla en un 5% y 10% el pH disminuye, pero sigue siendo extremadamente alcalino.

Tabla 10. Peso específico del cemento y arcilla de la localidad de Huanchac.

Material	Peso Especifico
Cemento	3.13
Arcilla	2.52
cemento + 5% arcilla	3.09
cemento + 10% arcilla	3.03

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la USP

El peso específico del cemento es de 3.13, mientras que el peso específico de la arcilla de la localidad de Huanchac es de 2.52, al realizar el reemplazo del cemento en un 5% por arcilla tiene un peso específico de 3.09 y al realizar el reemplazo del cemento en un 10% por arcilla tiene un peso específico de 3.03.

Tabla 11. Cantidad de materiales y relación A/C para el concreto patrón y experimental con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 5% y 10%.

Concreto		Cemento	Arcilla - Huanchac	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	A/C
Patrón		17.12		78.93	57.32	11.57	0.6759
Experimental con el reemplazo del cemento por arcilla de Huanchac	5%	15.41	1.71	78.71	57.32	11.58	0.6763
	10%	14.55	2.57	78.37	57.32	11.59	0.6770

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la USP

La relación A/C para el concreto patrón es de 0.6759, mientras que para el concreto experimental con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 5% la relación A/C-Arcilla es de 0.6763 y para el concreto experimental con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 10% la relación A/C-Arcilla es de 0.6770; las cantidades mostradas en la tabla corresponden para las probetas que son 9 de cada uno, estos valores varían debido al peso específico de la arcilla que afecta a la cantidad de agua, cuya variación es en cantidades mínimas.

Tabla 12. Resistencias de los especímenes de concreto patrón $f'c=210$ kg/cm².

Ensayo N°	Edad en días	Diámetro	Área cm	Carga de Ruptura	F'c Ruptura	F'c Proyecto	% Resistencia
1	7	15.2	176.71	23290	131.79	210	62.76%
2	7	15.2	176.71	23290	131.79	210	62.76%
3	7	15.2	176.71	23210	131.34	210	62.54%
4	14	15.2	176.71	28660	162.18	210	77.23%
5	14	15.2	176.71	28990	164.05	210	78.12%
6	14	15.2	176.71	28950	163.82	210	78.01%
7	28	15.2	176.71	38950	220.41	210	104.96%

8	28	15.2	176.71	39180	221.71	210	105.58%
9	28	15.2	176.71	38860	219.90	210	104.72%

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la USP

En la presenta tabla observamos las resistencias a la compresión obtenidos por el concreto patrón; en los distintos días en las cuales fue puesto a prueba, a los 7 días se observa que la resistencia a la compresión esta sobre 62%, a los 14 días esta sobre el 77% y a los 28 días se evidencia que la resistencia a la compresión esta sobre el 104%, de esta manera se está cumpliendo con la resistencia especificada.

Tabla 13. Resistencia de los especímenes de concreto experimental $f'c=210$ kg/cm² con el reemplazo del cemento en un 5% de arcilla de la localidad de Huanchac.

Ensayo N°	Edad en días	Diámetro	Área cm	Carga de Ruptura	F'c Ruptura	F'c Proyecto	% Resistencia
1	7	15.2	176.71	22760	128.80	210	61.33%
2	7	15.2	176.71	22890	129.53	210	61.68%
3	7	15.2	176.71	22870	129.42	210	61.63%
4	14	15.2	176.71	29880	169.09	210	80.52%
5	14	15.2	176.71	29920	169.31	210	80.63%
6	14	15.2	176.71	29510	166.99	210	79.52%
7	28	15.2	176.71	39730	224.83	210	107.06%
8	28	15.2	176.71	39540	223.75	210	106.55%
9	28	15.2	176.71	39670	224.49	210	106.90%

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la UPS

En la presente tabla observamos la resistencia a la compresión obtenido por el concreto con el reemplazo del cemento en un 5% por arcilla de la localidad de Huanchac; en los distintos días de la prueba, se observa que la resistencia a la compresión tiene el siguiente comportamiento: a los 7 días se observa que la resistencia a la compresión esta sobre 61%, a los 14 días esta sobre el 79% y a los 28

días la resistencia a la compresión esta sobre el 106%, lo cual indica que el reemplazo del cemento por arcilla en un 5% hace que se tenga una resistencia adecuada.

Tabla 14. Resistencias de los especímenes de concreto experimental $f'c=210$ kg/cm² con el reemplazo del cemento en un 10% por arcilla de la localidad de Huanchac.

Ensayo N°	Edad en días	Diámetro	Área cm	Carga de Ruptura	F'c Ruptura	F'c Proyecto	% Resistencia
1	7	15.2	176.71	17460	98.80	210	47.05%
2	7	15.2	176.71	17540	99.26	210	47.26%
3	7	15.2	176.71	17450	98.75	210	47.02%
4	14	15.2	176.71	27980	158.33	210	75.40%
5	14	15.2	176.71	28190	159.52	210	75.96%
6	14	15.2	176.71	27890	157.83	210	75.15%
7	28	15.2	176.71	35640	201.68	210	96.04%
8	28	15.2	176.71	35540	201.12	210	95.77%
9	28	15.2	176.71	35610	201.51	210	95.96%

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la UPS

En la presente tabla observamos la resistencia a la compresión obtenido por el concreto con el reemplazo del cemento en un 10% por arcilla de la localidad de Huanchac; en los distintos días de la prueba, se observa que la resistencia a la compresión tiene el siguiente comportamiento: a los 7 días se observa que la resistencia a la compresión esta sobre 47%, a los 14 días esta sobre el 75% y a los 28 días la resistencia a la compresión esta sobre el 95%, lo cual indica que el reemplazo del cemento por arcilla en un 10% hace que se tenga una resistencia a la compresión no adecuada; ya que no cumple con la resistencia especificada en el diseño.

Tabla 15. Resistencia promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con el reemplazo del 5% y 10% del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac.

Edad en días	Concreto		
	Patrón	Sustitución 5% del cemento	Sustitución 10% del cemento
7	131.6	129.2	98.9
14	163.4	168.5	158.6
28	220.7	224.4	201.4

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la USP

En la presente tabla se observa la resistencia promedio obtenido por el concreto: patrón y experimental con el reemplazo del cemento en un 5% y 10% respectivamente:

A los 7 días el concreto patrón es el que obtiene mayor resistencia seguido del concreto experimental con el reemplazo del cemento en un 5% por arcilla de la localidad de Huanchac.

A los 14 días el concreto experimental con el reemplazo del cemento en un 5% es el que obtiene mayor resistencia seguido del concreto patrón.

A los 28 días el concreto experimental con el reemplazo del cemento en un 5% vuelve a obtener la mayor resistencia a la compresión, seguido del concreto patrón.

Tabla 16. Resistencia promedio de los especímenes de concreto patrón y experimental $f'c=210$ kg/cm² con el reemplazo del 5% y 10% del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac, expresado en porcentajes.

Edad en días	Concreto		
	Patrón	Sustitución 5% del cemento	Sustitución 10% del cemento
7	62.7%	61.5%	47.1%
14	77.8%	80.2%	75.5%
28	105.1%	106.8%	95.92%

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la USP

En la presente tabla se observa la resistencia promedio obtenido por el concreto: patrón y experimental con el reemplazo del cemento en un 5% y 10% respectivamente, expresado en porcentajes:

A los 7 días el concreto patrón tiene la mayor resistencia, se obtiene el 62.7%; seguido del concreto experimental con el reemplazo del cemento en un 5% por arcilla de la localidad de Huanchac, que tiene el 61.5%.

A los 14 días el concreto experimental con el reemplazo del cemento en un 5% es el que obtiene mayor resistencia que equivale al 80.2%, seguido del concreto patrón que llega al 77.8%.

A los 28 días el concreto experimental con el reemplazo del cemento en un 5% vuelve a obtener la mayor resistencia a la compresión, a razón de 106.8%, seguido del concreto patrón que logra 105.1%.

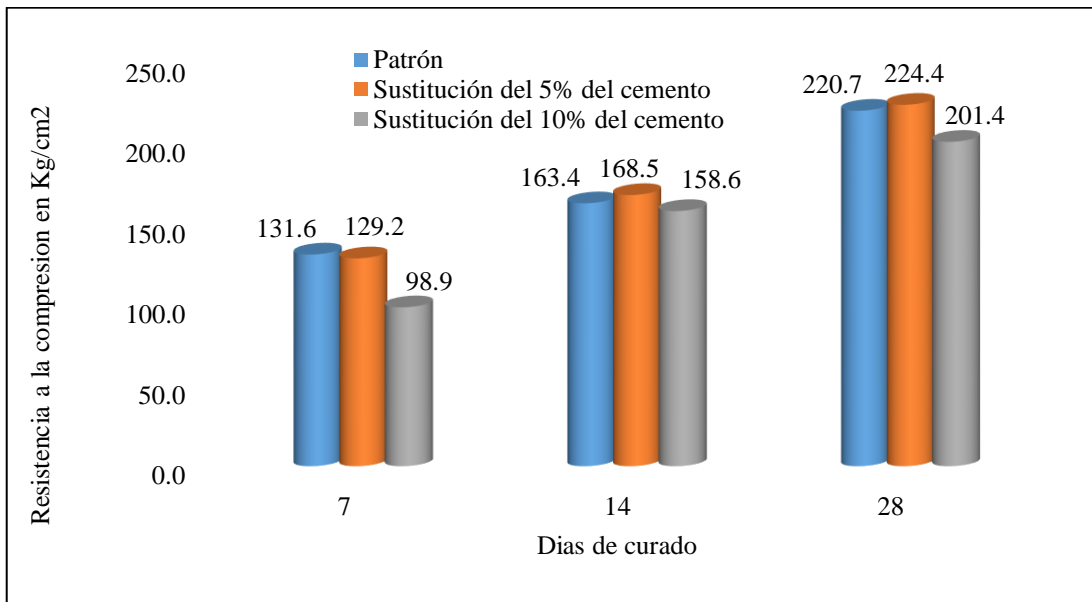


Figura 5. Evolución de la resistencia a la compresión del concreto patrón y experimentales.

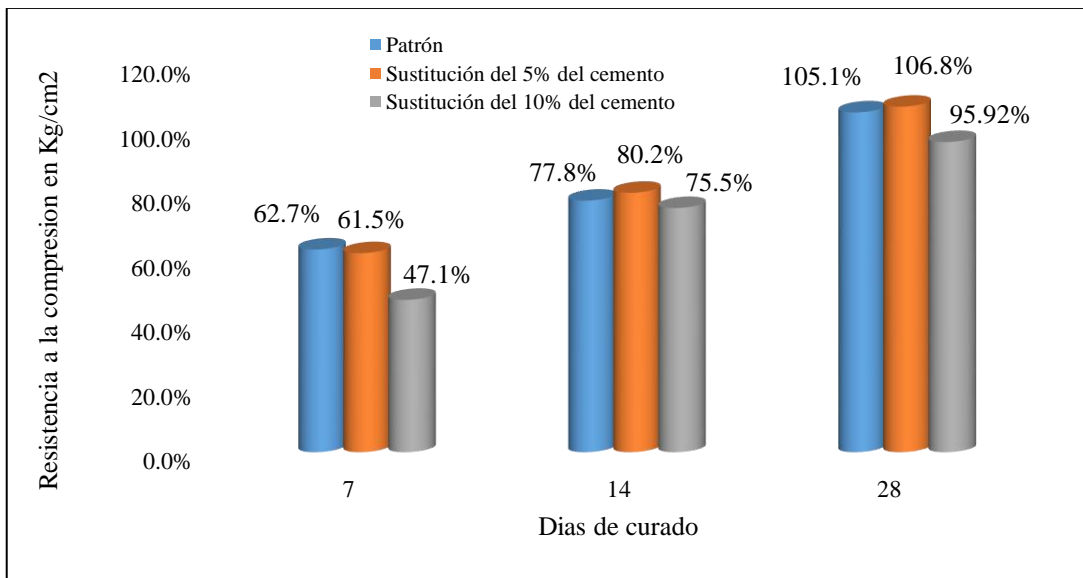


Figura 6. Evolución de la resistencia a la compresión del concreto patrón y experimentales, expresado en porcentaje respecto a la resistencia de diseño.

Tabla 17. Prueba de Hipótesis. Análisis de varianza para determinar la diferencia de la resistencia del concreto patrón y experimental $f'c=210$ kg/cm².

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Filas	13729.914	2	6864.957	129.701	0.000	6.944
Columnas	805.124	2	402.562	7.606	0.043	6.944
Error	211.716	4	52.929			
Total	14746.755	8				

Fuente: Elaboración propia con los datos de laboratorio de la USP

Al ser los valores de la Probabilidad menores que 0.05 y la F calculada > F crítico, tal como se observa en la presente tabla ($129.701 > 6.94$ y $7.606 > 6.94$), indican que existen diferencias significativas entre la resistencia a la compresión del concreto patrón y las experimentales con el reemplazo del cemento en un 5% y 10% por arcilla de la localidad de Huanchac - Huaraz.

Estos resultados indican que el concreto experimental con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 5%, indica que su resistencia a la compresión se encuentra a la par e incluso supera al concreto patrón, mientras que el concreto con el reemplazo en un 10% no obtiene la resistencia de diseño.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y a los antecedentes, tenemos lo siguiente:

Análisis y discusión.

De acuerdo a las tablas 5, 6 y 7 y las figuras 3 y 4, la muestra de arcilla utilizada en la sustitución del cemento en la elaboración de los concretos experimentales, el cual fue obtenida de la localidad de Huanchac, en base a sus límites de consistencia (el índice de plasticidad $IP = 36.15$ y el límite líquido $LL = 62.52$), la muestra resulta ser un tipo de arcilla llamada Illita.

En la tabla 8, se observa que el pH de la muestra de arcilla de la localidad de Huanchac es ligeramente acida, mientras que el pH del cemento y del reemplazo del mismo en un 5% y 10% por arcilla, tiene un comportamiento que es extremadamente alcalino en ambos casos, esto se debe a que el cemento tiene un pH extremadamente alcalino.

En la tabla 9, se presenta el peso específico de la arcilla, y del cemento con reemplazo por arcilla en 5% y 10% respectivamente, el peso específico de la arcilla es menor que del cemento, esto disminuye el peso específico de la sustitución del cemento por arcilla en los porcentajes indicados.

En la tabla 10: se observa la relación A/C para el concreto patrón y para el concreto experimental, con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 5% y 10%; cuyos valores varían debido al peso específico de la arcilla que afecta la cantidad de agua a usarse en la elaboración del concreto, cuya variación es en cantidades mínimas; cuanto más arcilla se sustituya al cemento se requerirá mayor cantidad de agua en la preparación del concreto.

El comportamiento de la resistencia del concreto patrón y experimental con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac - Huaraz en un 5% y 10%, se muestra en las tablas 11, 12, 13, 14 y 15 y en las figuras 5 y 6 respectivamente, donde se observa que el concreto con el reemplazo del 5% del cemento por arcilla es la que mayor resistencia a la compresión tiene, incluso

superando la resistencia del concreto patrón, mientras que el concreto con el reemplazo del 10% del cemento por arcilla es la que menor resistencia tiene y no cumple con la resistencia requerida en el diseño de mezcla.

En la tabla 16, se evidencian que la resistencia a la compresión del concreto patrón y la experimental es diferente estadísticamente, debido a que el valor de la probabilidad es menor que 0.05.

Al comparar los resultados de la presente investigación con la realizada por Mejía (2017), quien concluyó que el concreto con la sustitución del 3% y 5% en cuanto a la resistencia a la compresión no superaron a la resistencia del concreto patrón, estos resultados son contrarios a los encontrados en la presente investigación, debido a que el concreto con el reemplazo del cemento en un 5% supera la resistencia a la compresión del concreto patrón, sin embargo el concreto con el reemplazo del cemento en un 10% no supera, ni cumple con la resistencia para el cual fue diseñado.

Asimismo la investigación que realizaron Valentín y Julca (2015), concluyeron que el concreto con la sustitución de la arena por la arcilla natural en un 7% no excede a la resistencia del concreto patrón; mientras que, el concreto con la sustitución de la arena por arcilla natural en un 5% obtiene mayor resistencia que el concreto patrón, y con la sustitución de la arena por arcilla natural en un 3% se obtiene resistencia similar que el concreto patrón, estos resultados son parcialmente similares con los resultados obtenidos en la presente investigación, ya que el concreto con el reemplazo del cemento por arcilla en un 5% supera la resistencia del concreto patrón, sin embargo el concreto con el reemplazo del cemento en un 10% por arcilla no cumple con la resistencia proyectada.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

- Teniendo en cuenta sus límites de consistencia, la arcilla de la localidad de Huanchac ubicado en la provincia de Huaraz, corresponde a un tipo de arcilla denominada Illita.
- El componente mayoritario de la arcilla es el óxido de silicio, lo cual la hace ideal en la preparación del concreto.
- El pH de la arcilla de la localidad de Huanchac – Huaraz es ligeramente acida, mientras que el pH del cemento y del reemplazo del mismo en un 5% y 10% por arcilla, es extremadamente alcalino.
- La relación A/C para el concreto patrón es de 0.6759, mientras que para el concreto experimental con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 5% la relación A/C-Arcilla es de 0.6763 y para el concreto experimental con el reemplazo del cemento por arcilla de la localidad de Huanchac en un 10% la relación A/C-Arcilla es de 0.6770; los valores varían debido al peso específico de la arcilla que afecta a la cantidad de agua, cuya variación es en cantidades mínimas.
- El peso específico del cemento es 3.13, mientras que el peso específico de la arcilla de la localidad de Huanchac es 2.52, al realizar el reemplazo del cemento en un 5% por arcilla tiene un peso específico de 3.09 y al realizar el reemplazo del cemento en un 10% por arcilla tiene un peso específico de 3.03.
- El concreto con el reemplazo del 5% del cemento por arcilla es el que tiene mayor resistencia a la compresión (224.4 Kg/cm²), seguido del concreto patrón (220.7 Kg/cm²), se evidencia que hay una diferencia de 1.7% con respecto a la resistencia del patrón; y finalmente el concreto con el reemplazo del 10% del cemento por arcilla tiene la menor resistencia (201.4 Kg/cm²).
- El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas en la resistencia a la compresión del concreto patrón y las experimentales.

Recomendaciones:

- El pH de la arcilla es idóneo, debido a que el concreto con el reemplazo del 5% tuvo una resistencia superior a la del diseño, por lo tanto se recomienda realizar ensayos con otros porcentajes a fin de encontrar otras cantidades adecuadas para la sustitución.
- Al realizar el reemplazo del cemento por arcilla es importante tener en cuenta que a mayor sustitución la cantidad de agua también varía en mayor cantidad.
- Tener en cuenta que a medida que el reemplazo del cemento por arcilla aumenta el peso específico disminuirá.
- Utilizar la arcilla de la localidad de Huanchac, a razón de los resultados obtenidos, ya que el concreto con el reemplazo del 5% del cemento tiene mayor resistencia a la compresión, incluso superando al concreto patrón.

VI. AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mi esposa, padres y familiares quienes con amor y dedicación me dieron todo lo que estuvo a su alcance para que mi persona sea profesional.

A todas las personas que me ayudaron en el desarrollo y culminación de esta investigación y de una manera muy especial a mi asesor el Ing. López Carranza Rubén.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2003). Tecnología del Concreto. Perú: Editorial San Marcos.
- Alujas, A. (2010). Empleo de Arcillas Caolinítica de Bajo Grado Activadas Térmicamente como una Alternativa para el Reemplazo Parcial de Cemento Portland. Revista CENIC Ciencias Químicas, vol. 41, pp. 1-10.
- Bryan, D; Hugger, J; Horstam, M; Voss E. (2008, 8 de Diciembre). Nuevos Desarrollos en la Tecnología del Concreto, PHI- Planta de Hormigón Internacional. Recuperado de <http://www.imcyc.com/ct2008/dic08/dic08/tecnologia.htm>.
- Céspedes, M. (2003). Resistencia a la Compresión del Concreto A partir de la Velocidad de Pulsos de Ultrasonido, Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de Piura, Perú.
- Gonzales, M., (1962), "Tecnología Del Concreto Diseño De Mezclas"
- Osorio, J. (2013,26 de junio). "Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión". Recuperado de: <http://360gradosblog.com/index.php/resistencia-mecanica-del-concreto-y-resistencia-a-la-compresion/#sthash.vjzEqzmd.dpuf>.
- Pizarra, R. (1998), Arcillas Activadas por Lixiviación Parcial con Ácido Sulfúrico, Tesis de Ingeniería Química. Universidad Mayor de San Marcos, Perú.
- Rivva, E. (1999). Diseño de Mezclas. Perú: Editorial Hozlo S.C.R.L.
- Sánchez, D., (2001), "Tecnología Del Concreto Y Del Mortero", Colombia: Bhandar Editores.

Mejía, V. (2017), “Resistencia del concreto de $f'c=210$ kg/cm² con la sustitución del cemento en un 3 y 6% por arcilla de paria - Huaraz – 2016”, Perú: Universidad San Pedro.

Yagual & Villacis, (2015), “Hormigón liviano de alto desempeño con arcilla expandida”, Ecuador: Universidad Estatal Península de Santa Elena.

VIII. ANEXOS Y APÉNDICES

Tabla 18. Granulometría del agregado fino.

No	TAMIZ ABERT. (mm.)	PESO RETEN. (gr)	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
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	257.60	4.04	4.04	95.96
N° 8	2.360	710.40	11.15	15.20	84.80
N° 16	1.180	1166.50	18.31	33.51	66.49
N° 30	0.600	1210.20	19.00	52.51	47.49
N° 50	0.300	1514.60	23.78	76.28	23.72
N° 100	0.150	1432.70	22.49	98.78	1.22
N° 200	0.075	68.00	1.07	99.84	0.16
PLATO		10.00	0.16	100.00	0.00
TOTAL		6370.00	100.00		
MODULO DE FINEZA		2.80			

Fuente: Elaboración Propia.

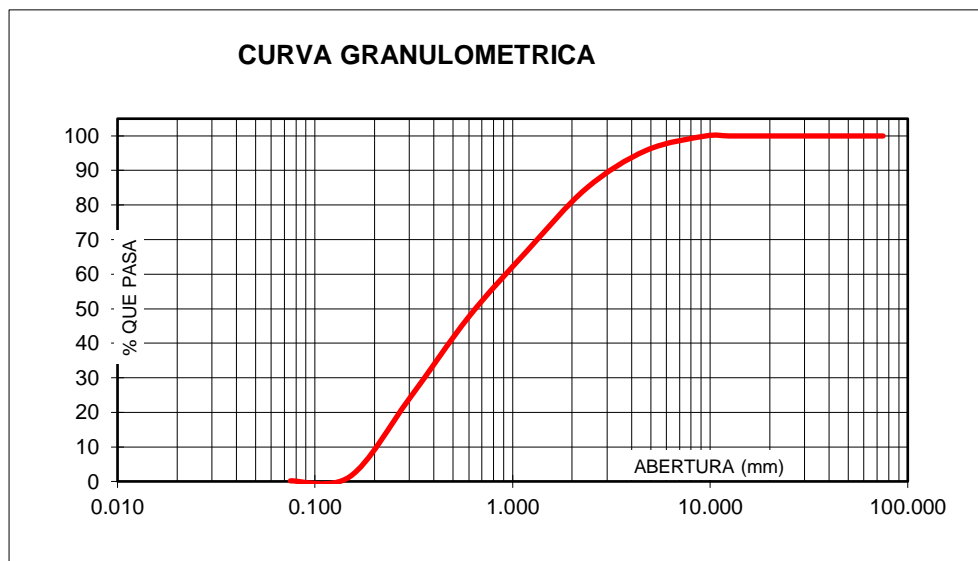


Figura 7. Curva Granulométrica del agregado fino.

Tabla 19. Granulometría del agregado grueso.

No	TAMIZ ABERT. (mm.)	PESO	%	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
		RETEN. (gr)	RETENIDO PARCIAL		
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	2372.40	31.26	31.26	68.74
1/2"	12.500	3780.60	49.81	81.07	18.93
3/8"	9.500	942.30	12.42	93.49	6.51
N° 4	4.750	462.20	6.09	99.58	0.42
N° 8	2.360	0.00	0.00	99.58	0.42
N° 16	1.180	0.00	0.00	99.58	0.42
N° 30	0.600	0.00	0.00	99.58	0.42
N° 50	0.300	0.00	0.00	99.58	0.42
N° 100	0.150	0.00	0.00	99.58	0.42
N° 200	0.075	0.00	0.00	99.58	0.42
PLATO		32.00	0.42	100.00	0.00
TOTAL		7589.50	100.00		
MODULO DE FINEZA		8.03			

Fuente: Elaboración Propia

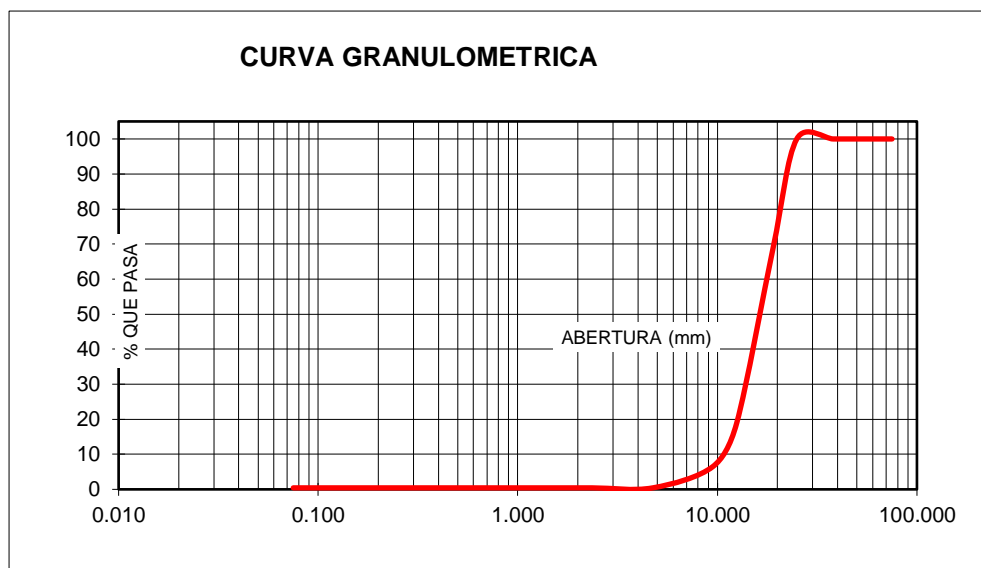


Figura 8. Curva Granulométrica del agregado grueso.

Tabla 20. Contenido de Humedad del agregado fino.

Ítem	Resultado		
Número del Recipiente	32	33	34
Peso del Recipiente + Suelo Húmedo	734.0	732.0	736.0
Peso del Recipiente + Suelo Seco	703.4	701.6	705.3
Peso del Recipiente	165	165	165
Peso del Agua	30.60	30.40	30.70
Peso del Suelo Seco	538.40	536.60	540.30
Humedad	5.68	5.67	5.68
HUMEDAD PROMEDIO		5.68	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21. Contenido de Humedad del agregado grueso.

Ítem	Resultado		
Número del Recipiente	11	14	15
Peso del Recipiente + Suelo Húmedo	1096.0	1094.0	1095.0
Peso del Recipiente + Suelo Seco	1090.2	1088.3	1089.2
Peso del Recipiente	163	163	163
Peso del Agua	5.80	5.70	5.80
Peso del Suelo Seco	927.20	925.30	926.20
Humedad	0.63	0.62	0.63
HUMEDAD PROMEDIO		0.62	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 22. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino.

Tipo de peso Unitario	Peso Unitario Suelto			Peso Unitario Compactado		
	1	2	3	1	2	3
Muestra N°						
Peso Material + Molde	7205	7212	7215	7980	7975	7974
Peso del Molde	3420	3420	3420	3420	3420	3420
Peso del Material	3785	3792	3795	4560	4555	4554
Volumen del molde	2776.0	2776.0	2776.0	2776.0	2776.0	2776.0
Peso Unitario	1.363	1.366	1.367	1.643	1.641	1.640
Promedio		1.366			1.641	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 23. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso.

Tipo de peso Unitario	Peso Unitario Suelto			Peso Unitario Compactado		
	1	2	3	1	2	3
Muestra N°						
Peso Material + Molde	27720	27730	27720	29580	29585	29588
Peso del Molde	7380	7380	7380	7380	7380	7380
Peso del Material	20340	20350	20340	22200	22205	22208
Volumen del molde	13724	13724	13724	13724	13724	13724
Peso Unitario	1.482	1.483	1.482	1.618	1.618	1.618
Promedio		1.482			1.618	

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 24. *Peso específico y porcentaje de absorción del agregado fino.*

AGREGADO FINO		
Identificación		20
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en agua)	300.0
B	Peso del Agua + Frasco	673.4
C	Peso Frasco + Agua	973.4
D	Peso del Mat. + Agua en el frasco	865.8
E	Vol. De Masa + Vol. De Vacío	107.6
F	Peso del Mat. Seco en Estufa (105°C)	296.2
G	Vol. De Masa	103.8
	Pe Bulk (Base Seca)	2.753
	Pe Bulk (Base Saturada)	2.788
	Pe Aparente (Base Seca)	2.854
	% de Absorción	1.28%

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 25. *Peso específico y porcentaje de absorción del agregado grueso.*

AGREGADO GRUESO					
Identificación	1	16	22		
A	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en aire)	945.4	944.8	945.1	
B	Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en agua)	693.6	693.5	693.5	
C	Vol. De Masas / Volumen de Vacíos	251.8	251.3	251.6	
D	Peso Mat. Seco en estufa (105°C)	898.6	898.2	898.1	
E	Vol. De Masas	205	204.7	204.6	Promedio
	Pe Bulk (Base Seca)	3.57	3.57	3.57	3.57
	Pe Bulk (Base Saturada)	3.75	3.76	3.76	3.76
	Pe Aparente (Base Seca)	4.38	4.39	4.39	4.39
	% de Absorción	5.21%	5.19%	5.23%	5.21%
	% de Absorción Promedio	5.21%			

Fuente: Elaboración Propia.

7

Hamsem (2005), en su libro “Diseño de estructuras de concreto”,
(Neville, 1999) tecnología del concreto.